

## VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS PECUÁRIOS

CAROLINA BAYER GOMES CABRAL

Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

2011/2





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

**VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS DA DIGESTÃO  
ANAERÓBIA DE RESÍDUOS PECUÁRIOS**

CAROLINA BAYER GOMES CABRAL

Trabalho submetido à Banca  
Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do  
Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e  
Ambiental–TCC II.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli  
Filho

Co-orientador: Torsten Schwab

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
Dezembro de 2011




UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

**VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS DA DIGESTÃO  
ANAERÓBIA DE RESÍDUOS PECUÁRIOS**

CAROLINA BAYER GOMES CABRAL

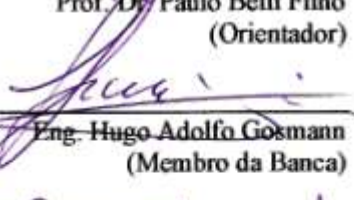
Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental-TCC II.

BANCA EXAMINADORA:



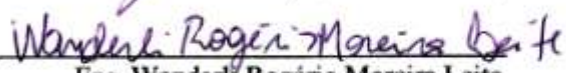
---

Prof. Dr. Paulo Belli Filho  
(Orientador)



---

Eng. Hugo Adolfo Gosmann  
(Membro da Banca)



---

Eng. Wanderli Rogério Moreira Leite  
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
Dezembro de 2011



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente a minha família, principalmente aos meus pais por me incentivarem e serem meus maiores mestres e exemplos como pessoas e como engenheiros.

À GIZ por me receber como estagiária e apoiar o meu trabalho. A todos do Programa Energia pelo ambiente amigável.

Ao meu co-orientador, Torsten Schwab, por acreditar em mim desde o início e pela oportunidade.

Ao Professor Paulo Belli Filho pela orientação neste trabalho.

A Julio Monteiro Teixeira pela ajuda com as figuras, e principalmente pela paciência e incentivo.

Aos meus colegas de graduação que tornaram este processo muito mais divertido.





## RESUMO

As atividades pecuárias têm um grande potencial poluidor, principalmente a suinocultura, por produzir grandes quantidades de resíduos com altas cargas de nutrientes (fósforo e nitrogênio), matéria orgânica, sedimentos, patógenos, metais pesados, hormônios e antibióticos. Estes resíduos podem contaminar os rios (eutrofização), lençóis subterrâneos, o solo (patógenos e excesso de nutrientes) e o ar (emissões gasosas). O uso de biodigestores anaeróbios constitui uma forma de tratamento de dejetos que possibilita a recuperação e o armazenamento do biogás e a utilização do efluente como biofertilizante. O aumento da demanda de energia, o esgotamento das fontes tradicionais, e o impacto por elas gerado, ocasionaram no aumento de pesquisas e de investimentos no aproveitamento de novas fontes de energia como o biogás. O objetivo do trabalho é analisar a viabilidade técnica e ambiental da geração de biogás pela digestão anaeróbia de resíduos pecuários com enfoque no aproveitamento energético. Para tal, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso do tratamento centralizado de dejetos de 86 fazendas da cidade de Tupandi-RS, com seleção de modelo de biodigestor e estimativas da quantidade de biogás e de energia. O modelo que se mostrou mais adequado ao caso foi lagoa anaeróbia coberta, construída em lona de PVC preta. Pelo volume de  $13.314 \text{ m}^3$ , optou-se por duas lagoas de  $6.750 \text{ m}^3$  cada. O potencial elétrico estimado foi de 1.358 KW e térmico de 1.697 KW, suficiente para abastecer a fábrica de móveis vizinha a planta de biogás e as residências de Tupandi.

**Palavras-Chave:** resíduos pecuários, biogás, energia.



## ABSTRACT

The livestock activities have high pollution potential , especially swine, that produces large quantities of waste with high loads of nutrients (phosphorus and nitrogen), organic matter, sediments, pathogens, heavy metals, hormones and antibiotics. These wastes can contaminate rivers (eutrophication), groundwater, soil (pathogens and excess nutrients) and air (gaseous emissions). The use of anaerobic digesters is a form of waste treatment that enables the retrieval and storage of the biogas and use of digestate as biofertilizer. The increase in energy demand, depletion of traditional sources, and their impact, increased the research and investment in new sources of energy such as biogas. The aim of this study is to analyze the technical and environmental feasibility of the generation of biogas from the anaerobic digestion of livestock waste with a focus on energy use. For this purpose, it was performed a literature review and case study of centralized treatment of waste from 86 farms in the city of Tupandi-RS, with selection of the digester, estimative of the quantity of biogas and energy. The more appropriate model was covered anaerobic lagoon, built in black PVC tarpaulin with volume of 13,314 m<sup>3</sup>. The estimated electric potential was 1,358 KW and 1,697 KW of heat, both enough to supply the furniture factory nearby the biogas plant and the residences of Tupandi.

**Keywords:** Biogas, livestock manure, energy.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição espacial do rebanho de bovinos, com destaque para os dez principais municípios – Brasil – 2004 .....	27
Figura 2: Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. ....	32
Figura 3 – Biodigestor Modelo Indiano .....	37
Figura 4 – Biodigestor modelo Chinês .....	38
Figura 5 - Biodigestor modelo canadense e depósito de biofertilizante, revestidos em lona de PVC, para a produção de biogás e armazenamento de resíduo. Fonte: Oliveira, 2004. ....	40
Figura 6 – Poder calorífico inferior por concentração de metano. ....	44
Figura 7 - Representação esquemática de um sistema de cogeração por motor e por turbina. ....	47
Figura 8 - Exemplo esquemático de sistemas coletivos centralizados de digestão anaeróbia.....	51
Figura 9 – Mapa de Localização de Tupandi – RS. ....	58
Figura 10 - Dados climatológicos de Tupandi (médias do período entre 1961 e 1990). Fonte: INMET, 2011.....	59
Figura 11- Imagem de satélite da pretendida área de instalação da Usina de Biogás Fonte: GIZ, 2011.....	60
Figura 12 – Esquema do sistema de tratamento e possíveis usos para o biogás produzido. ....	68
Figura 13 - Vista em corte da lagoa anaeróbia coberta.....	71
Figura 14 – Fluxograma da utilização do biogás .....	72



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efetivo de animais em estabelecimentos agropecuários (2006)....	26
Tabela 2 - Potencial de produção de biogás a partir de dejetos de animais ...	28
Tabela 3 - Produção diária de dejetos em cada fase de produção .....	28
Tabela 4 - Caracterização média de dejetos de suínos estudados no sul do Brasil.....	29
Tabela 5 - Valores médios de alguns parâmetros obtidos nos dejetos puros (fezes + urina) dos bovinos confinados.....	29
Tabela 6 - Requisitos ambientais .....	35
Tabela 7 - Efeitos dos sulfetos no tratamento anaeróbio .....	35
Tabela 8 - Concentrações dos gases que compõe o biogás .....	43
Tabela 9: Níveis de tratamento requerido para diferentes tipos de uso do biogás .....	50
Tabela 10 - Planta de biogás - entradas e saídas (2005).....	54
Tabela 11 – Unidades de criações e suas siglas. ....	60
Tabela 12 – Equações utilizadas .....	64
Tabela 13– Quantidade média de dejetos para cada tipo de animal.....	66
Tabela 14 – Características dos Dejetos .....	66
Tabela 15 - Parâmetros adotados .....	69
Tabela 16 – Resultados da primeira parte dos cálculos .....	70
Tabela 17 – Resultados da segunda parte dos cálculos .....	71





## **LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS**

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DQO – Demanda Química de Oxigênio  
ST – Sólidos Totais  
SV – Sólidos Voláteis  
NTK – Nitrogênio Kjeldahl Total  
Pt- Fósforo Total  
UPL – Unidade Produtora de Leitões até 21 dias  
CT – Unidade de produção de suínos do tipo crescimento e terminação  
SC – Suínos em creche  
AP – Aves de postura  
BO – Bovinos  
CO – Carga Orgânica  
COV – Carga Orgânica Volumétrica  
Vdigestor – Volume do Digestor  
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica  
Vmetano – Volume de Metano Gerado  
PE – Potencial Energético



## **Sumário**

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1 O contexto e o problema .....	21
1.2 Objetivos .....	22
1.3 Justificativa.....	23
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>25</b>
2.1 Resíduos pecuários .....	25
2.2 Digestão anaeróbia .....	30
2.3 Biogás .....	42
2.4 Exemplos no Mundo .....	52
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>57</b>
3.1 Caracterização geral da pesquisa.....	57
3.2 Pesquisa Bibliográfica .....	57
3.3 Estudo de caso: .....	57
3.4 Quantidade e caracterização de dejetos .....	60
3.5 Carga orgânica .....	61
3.6 Seleção e dimensionamento do biodigestor .....	61
3.7 Eficiência esperada do biodigestor e estimativa da geração de energia .....	62
<b>4. RESULTADOS e DISCUSSÃO.....</b>	<b>66</b>
4.1 Quantidade e caracterização de dejetos .....	66
4.2 Modelo de Biodigestor Selecionado .....	67
4.3 Dimensionamento e estimativa de energia .....	69
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>76</b>

7.	ANEXOS .....	82
----	--------------	----

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 O contexto e o problema

O Brasil tem se firmado como um grande fornecedor mundial do grupo carnes, sendo o líder isolado nas exportações de carne bovina, com volume exportado 56,0% superior ao da Austrália, segundo maior exportador. No comparativo do efetivo de suínos com o resto do mundo, o Brasil ocupa a terceira posição, sendo que maior parte do efetivo está localizado no Sul do País (47,5%) (IBGE, 2008).

A suinocultura no Brasil é desenvolvida predominantemente por pequenas propriedades rurais. Cerca de 81,7% dos suínos são criados em unidades de até 100 hectares (ha). Essa atividade se encontra presente em 46,5% das 5,8 milhões de propriedades existentes no país, empregando mão-de-obra tipicamente familiar e constituindo uma importante fonte de renda e de estabilidade social (GASPAR, 2003).

Se os resíduos agropecuários não forem tratados corretamente, podem poluir as águas, os solos e afetar a qualidade do ar nestas regiões, através da emissão de maus odores (BELLI FILHO et. al., 2000).

A poluição causada pela atividade suinícola, tem causado sérios problemas ambientais, principalmente relacionados à poluição hídrica, devido à alta carga orgânica e presença de coliformes fecais (OLIVEIRA, 2002 apud Dal Mago, 2010).

O uso de biodigestores anaeróbios constitui uma forma de tratamento de dejetos, que possibilita a recuperação e o armazenamento do biogás e a utilização do efluente como biofertilizante. A produção de biogás a partir de efluentes depende das características dos dejetos e seu manejo, do número de animais, do sistema de produção, das condições ambientais e operacionais do reator (Oliveira, 2002 apud Dal Mago, 2010).

O biogás produzido pode ser armazenado e recuperado para a produção de energia (calor, eletricidade, cogeração, alimentação da rede de gás natural e combustível para veículos).

Com o aumento da demanda de energia, o esgotamento das fontes tradicionais, e o impacto por elas gerado, a busca por fontes de energias alternativas (também chamadas de complementares ou energia limpa) vem aumentando. Cenários têm mostrado que a demanda de energia vai aumentar durante este século por um fator de dois ou três (WEILAND, 2009).

Diversos fatores tais como a crise ambiental, a ratificação do protocolo de Kyoto, a implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), aliado ao aumento do preço dos combustíveis

convencionais têm contribuído para o aumento em pesquisas e nos investimentos no aproveitamento de novas fontes de energia (SALOMON e LORA, 2009 apud LOBATO, 2011).

No Brasil, o fornecimento de energia elétrica no meio rural ainda é precário, mais de 30% das propriedades não possuem energia elétrica (IBGE, 2010).

Neste contexto o biogás surge como uma fonte de energia alternativa. Este pode ser uma fonte de energia para os próprios agricultores e fonte de combustível para os equipamentos, promovendo sustentabilidade ao processo. Trazendo economia e tornando-o menos dependente do fornecimento de energia tradicional.

O biogás agropecuário experimentou um forte crescimento em alguns países europeus - especialmente na Alemanha – devido a uma política de incentivos. No Brasil, o aproveitamento do biogás ainda é incipiente, com apenas 42 MW de capacidade instalada e 20 MW em construção. Considerando a elevada concentração da população brasileira em grandes centros urbanos e a expressiva produção agropecuária e agroindustrial e, portanto, de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais, é natural acreditar que o atual aproveitamento do biogás no Brasil encontra-se bastante aquém do seu potencial (ZANETTE, 2009).

A recuperação do biogás gerado a partir da digestão anaeróbia pode oferecer importantes benefícios ambientais, econômicos, energéticos e sociais.

Assim sendo, o trabalho analisa o aproveitamento do biogás pecuário como fonte de energia, analisando a viabilidade técnica e ambiental de sua geração pela digestão anaeróbia de resíduos agropecuários e o aproveitamento energético do mesmo.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso do tratamento centralizado de dejetos das fazendas da cidade de Tupandi - RS, com seleção e dimensionamento do modelo de biodigestor e estimativas da quantidade de biogás e de energia.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral:**

Analisar a viabilidade técnica e ambiental da geração de biogás pela digestão anaeróbia de resíduos pecuários com enfoque no aproveitamento energético.

### 1.2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar estudo sobre a digestão anaeróbia de resíduos pecuários.
- Identificar as potencialidades da geração de energia através do biogás e de seus usos
- Selecionar um modelo de biodigestor para um caso prático específico

## 1.3 Justificativa

A partir da segunda metade dos anos 70, a produção de suínos aumentou e, conseqüentemente, a de dejetos também. O aumento de dejetos e o descarte inadequado ocasionaram um aumento na poluição de determinados mananciais de água brasileiros, sendo que o déficit de oxigenação de uma fonte de água atingida pela contaminação com dejetos de suínos é maior do que pela contaminação de esgoto doméstico. As águas atingidas pela emissão de efluentes das pocilgas perdem, em pouco tempo, a capacidade de manutenção da vida da fauna e flora aquáticas. (GASPAR, 2003).

É preciso evitar que estes dejetos continuem a ser lançados nos mananciais d'água das regiões produtoras, pois comprometem a qualidade de vida das populações rurais e urbanas do país e a sobrevivência da fauna e da flora das regiões vizinhas a tais mananciais (GASPAR, 2003).

Segundo a *Sustainable Sanitation Alliance* –SuSanA (2011) o principal objetivo de um sistema de saneamento básico é proteger e promover a saúde humana, proporcionando um ambiente limpo e quebrar o ciclo da doença. Para ser sustentável, um sistema de saneamento tem que ser não apenas economicamente viável, socialmente aceitável, e tecnicamente e institucionalmente adequado, deve também proteger o meio ambiente e os recursos naturais. Observando os princípios de Saneamento Sustentável, que entre eles se destaca: “Os resíduos devem ser considerados um recurso, e a sua administração deve ser holística e de forma integrada com os recursos hídricos, fluxo de nutrientes e os processos de gestão de resíduos.” (SuSanA,2011).

Várias emissões gasosas têm causado sérias preocupações sobre os impactos climáticos, ambientais e sobre a saúde. As emissões de gases do efeito estufa e ácidos estão em níveis que requerem ações imediatas

para conter problemas severos no futuro (IPCC, 2007 apud ZANETTE, 2009). A digestão anaeróbia dos resíduos agropecuários e o uso do biogás como fonte de energia podem contribuir significativamente para a redução das emissões. O biogás como combustível alternativo tem sido reconhecido como uma boa opção por diversos governos que lançaram programas e regulamentações para reduzir as emissões. A utilização de biogás como combustível pode reduzir substancialmente as emissões de gases do efeito estufa, material particulado e de óxidos de nitrogênio (JÖNSSON, 2004 apud ZANETTE, 2009).



## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste capítulo realiza-se uma revisão de literatura que serve de base teórica para a pesquisa. São abordados os seguintes temas:

- Resíduos pecuários (suas características, potencial poluidor, quantidade de metano gerada por quilo de dejetos, entre outros);
- Digestão anaeróbia (principais grupos de microorganismos e etapas envolvidas, requisitos ambientais, entre outros);
- Modelos de digestores anaeróbios (os principais modelos de biodigestores utilizados no meio rural e suas características);
- Co-digestão (definição, vantagens, principais substratos e restrições)
- Biogás (composição e características, principais usos, requisitos de tratamento).
- Exemplos no Mundo ( a situação do biogás na Alemanha e o caso de uma cidade da Suécia).

### **2.1 Resíduos pecuários**

Os resíduos da pecuária são constituídos por esterco e outros produtos resultantes da atividade biológica do gado bovino, suíno, caprino e outros, cuja relevância local justifica seu aproveitamento energético. Este tipo de resíduo é importante matéria-prima para a produção de biogás, que pode ter um papel relevante no suprimento energético, inclusive para a cocção de alimentos nas zonas rurais (ZANETTE, 2009).

Os principais fatores que afetam as emissões de metano são a quantidade de dejetos produzida e a fração de dejetos que se decompõe anaerobicamente. O primeiro depende da taxa de produção de dejetos por animal e do número de animais e o segundo de como os dejetos são manejados. Quando os dejetos são estocados ou tratados como um líquido (em lagoas ou tanques), ele se decompõe anaerobicamente e pode produzir uma quantidade significativa de metano. A temperatura e o tempo de retenção da unidade de estocagem influenciam consideravelmente a quantidade de metano produzida. (ZANETTE, 2009).

A seguir podemos observar o número de bovinos, suínos e aves no ano de 2006 no Brasil. (Tabela 1)

Tabela 1 - Efetivo de animais em estabelecimentos agropecuários (2006)

<b>Região</b>	<b>Animal</b>	<b>Número de Cabeças</b>
<b>Brasil</b>	<b>Bovinos</b>	171.613.337
	<b>Suínos</b>	31.189.339
	<b>Aves *</b>	1.401.341
<b>Norte</b>	<b>Bovinos</b>	31.336.290
	<b>Suínos</b>	1.598.928
	<b>Aves *</b>	30.388
<b>Nordeste</b>	<b>Bovinos</b>	25.326.270
	<b>Suínos</b>	3.940.442
	<b>Aves *</b>	120.399
<b>Sudeste</b>	<b>Bovinos</b>	34.059.932
	<b>Suínos</b>	5.232.493
	<b>Aves *</b>	437.170
<b>Sul</b>	<b>Bovinos</b>	23.364.051
	<b>Suínos</b>	16.750.420
	<b>Aves *</b>	644.471
<b>Centro-Oeste</b>	<b>Bovinos</b>	57.526.794
	<b>Suínos</b>	3.667.056
	<b>Aves *</b>	168.912

\*1000 cabeças

Fonte: SIDRA, IBGE (2011).

O Brasil possui um efetivo de 31 milhões de cabeças de suínos. O Estado de Santa Catarina, com aproximadamente 6,6 milhões (IBGE, 2006), é o maior produtor regional da América Latina. Por consequência, a suinocultura é um setor que contribui, de maneira significativa, com a economia estadual, apresentando importância social, econômica e cultural muito grande em regiões com tradição nesta atividade, porém é um setor com baixa qualidade ambiental, poluindo as águas, os solos, afetando a qualidade do ar nestas regiões, através da emissão de maus odores, e pela proliferação descontrolada de insetos, ocasionando muito desconforto ambiental às populações (BELLI FILHO et al., 2000).

Já quanto ao rebanho de bovinos em 2004, o Brasil manteve sua posição de maior rebanho comercial de bovinos do mundo, atingindo um

efetivo de 204,5 milhões de animais, o que representou aumento de 4,58% em relação ao ano anterior (IBGE, 2004). Com destaque para a região Centro-Oeste, a seguir podemos visualizar a distribuição espacial de rebanho de bovinos no Brasil (Figura 1)

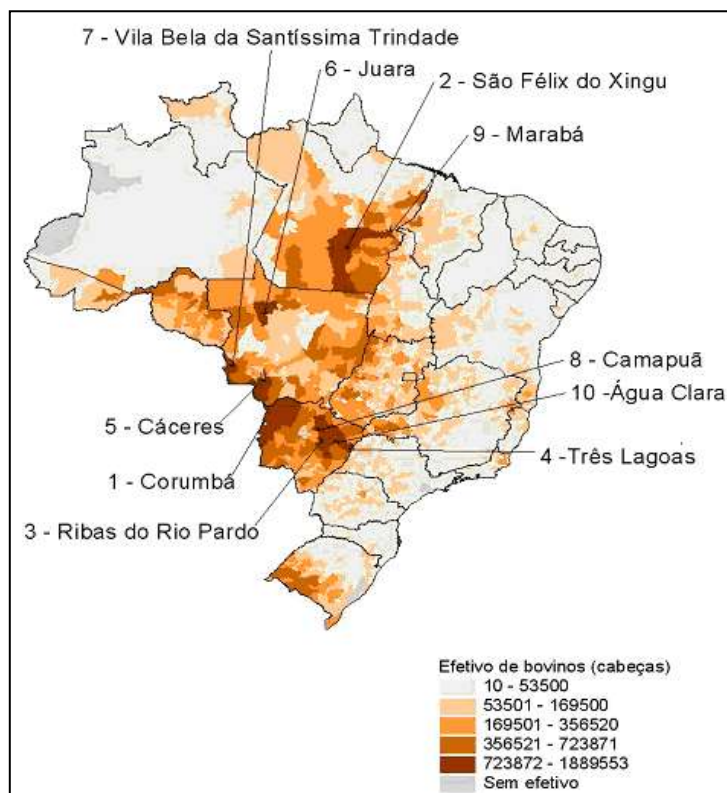


Figura 1 - Distribuição espacial do rebanho de bovinos, com destaque para os dez principais municípios – Brasil – 2004

Fonte: IBGE, 2004.

Para a estimativa de geração de dejetos, a população animal deve inicialmente ser dividida em categorias que refletem as quantidades variáveis de dejetos produzidos por animal. A seguir pode-se observar a quantidade (kg) de dejetos produzida por dia por cada animal e também a quantidade estimada de biogás por kg de dejetos. (Tabela 2).

Tabela 2 - Potencial de produção de biogás a partir de dejetos de animais

<b>Categoria</b>	<b>Dejetos (kg SV/d)</b>	<b>Metano (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg SV)</b>	<b>Produção de metano por animal (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/animal .d)</b>
<b>Bovinos de corte- extensiva</b>	2,50	0,10	0,25
<b>Bovinos de leite</b>	2,90	0,13	0,38
<b>Bovinos em confinamento</b>	2,50	0,13	0,33
<b>Suínos</b>	0,30	0,29	0,09
<b>Frangos</b>	0,02	0,24	0,005
<b>Ovinos</b>	0,32	0,13	0,042
<b>Caprinos</b>	0,35	0,13	0,046
<b>Equinos</b>	1,72	0,26	0, 447
<b>Bubalinos</b>	3,90	0,10	0,39

Fonte: Zanette, 2009.

As quantidades e qualidades dos dejetos produzidos variam de acordo com a categoria e as técnicas de criação do produtor, da quantidade de água utilizada nas instalações, das estações do ano e condições climáticas, do tipo de dieta, idade, raça e do grau de confinamento dos animais (GOULART, 1997).

A produção teórica de dejetos por animal segundo Oliveira (2004) pode ser observada a seguir (Tabela 3).

<b>Tabela 3 - Produção diária de dejetos em cada fase de produção</b>	
<b>Animais por categoria</b>	<b>Dejeto (m<sup>3</sup>/dia)</b>
<b>Fêmeas com Leitões (em lactação)</b>	0,027
<b>Leitões em Creche</b>	0,0014
<b>Suínos em Crescimento/Terminação</b>	0,007

Fonte: Adaptado de Oliveira (2004)

A Tabela 4 a seguir apresenta um resumo dos valores da caracterização média dos dejetos de suínos estudados no sul do Brasil, por três autores, segundo Alves, R. (2007).

Tabela 4 - Caracterização média de dejetos de suínos estudados no sul do Brasil.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>MEDRI</b>	<b>CAZARRÉ</b>	<b>ZATONELLI</b>
<b>pH</b>		6,90	7,06	6,87
<b>DQOt</b>	mg/L	21.647	20.005	26.387
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	11.979	-	-
<b>NKT</b>	mg/L	2.205	2.487	2.539
<b>PT</b>	mg/L	633	541	1.215
<b>ST</b>	mg/L	17.240	14.322	22.867
<b>SV</b>	mg/L	10.266	9.304	16.855

Fonte: Alves, R. 2007.

Já para bovinos Campos et. al. (2002) obteve os seguintes resultados (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de alguns parâmetros obtidos nos dejetos puros (fezes + urina) dos bovinos confinados.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Resultado</b>
<b>pH</b>		7,21
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	18.028
<b>DQO</b>	mg/L	51.776
<b>ST</b>	mg/L	148.550
<b>SV</b>	mg/L	106.900
<b>NKT</b>	mg/L	3.021
<b>Fósforo Total</b>	mg/L	1.152

Fonte: Adaptado de Campos et al. (2002).

### 2.1.1 Poluição causada pelos dejetos de suínos

Os dejetos de suínos são responsáveis por altos índices de poluição quando lançados sem tratamento nos corpos hídricos. Além do volume produzido, é preocupante também, a composição físico-química e microbiológica dos dejetos de suínos. As altas concentrações de nutrientes como nitrogênio e fósforo, e a elevada concentração de sólidos voláteis (SV) em relação aos sólidos fixos (SF), conferem a esses dejetos um elevado potencial poluidor (HENN, 2005).

Esses componentes orgânicos na água estimulam o crescimento de microrganismos, os quais diminuem a concentração de oxigênio dissolvido (OD), ocorrendo a eutrofização dos corpos receptores, atraindo moscas e causando maus odores (HENN, 2005).

O nitrogênio alterna-se entre várias formas e estados de oxidação em seu ciclo na biosfera. No meio aquático, pode apresentar-se nas seguintes formas: nitrogênio molecular ( $N_2$ ), nitrogênio orgânico, nitrito ( $NO_2^-$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ). A percolação de nitrogênio contamina o lençol freático por nitratos, que em concentrações elevadas ( $> 10 \text{ mg/l}$ ) podem causar câncer e metahemoglobinemia em crianças (Síndrome do bebê azul), sendo também responsável pela eutrofização dos corpos d'água. Os processos bioquímicos de conversão de amônia a nitrito e deste a nitrato, implicam no consumo de OD do meio. O nitrogênio na forma de amônia é diretamente tóxico aos peixes; além disso, importantes agentes patogênicos como: *E.coli*, *Salmonella* sp, *Myc. Tuberculosis*, *Brucella suis*, *Streptococcus* sp, vírus da peste suína clássica, da febre aftosa, entre outros, podem ser veiculados pelos dejetos de suínos (HENN,2005)

O fósforo, principal responsável pela eutrofização dos corpos d'água, está presente na forma de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. A criação de suínos, por confinamento, sem as devidas precauções quanto ao tratamento dos dejetos produzidos, resulta em sérios impactos aos mananciais, tanto superficiais como subterrâneos, sendo necessário o desenvolvimento de processos que viabilizem sistemas capazes de reduzir o poder poluente desta atividade.

Ou seja, o manejo ineficiente dos dejetos traz conseqüências indesejáveis, tais como o mau cheiro (odores), a concentração de amônia no ar, o nitrato na água subterrânea, o elevado potencial de eutrofização dos corpos de água superficiais, a exasperação de aspectos sanitários (BAUFÖRDERUNG LANDWIRTSCHAFT HANNOVER, 1993, apud GOSMANN, 1997).

Além disso, a contaminação dos mananciais não fica restrita ao município onde são lançados os dejetos, pois esses mananciais muitas vezes atravessam vários municípios, no seu trajeto da nascente até a foz. É comum que um município capte água já poluída, advinda de outro a montante, para utilizá-la no abastecimento público.

Sendo assim, os processos anaeróbios de tratamento e armazenamento se apresentam como uma solução adequada nas regiões suinícolas, no sentido de minimizar a poluição e os impactos ambientais provenientes dos dejetos de suínos, pois valorizam este efluente do ponto de vista energético e como biofertilizante para agricultura.

## **2.2 Digestão anaeróbia**

O processo de digestão anaeróbia consiste na solubilização e redução de substâncias orgânicas complexas pela ação de microrganismos, na ausência de oxigênio. Esta biodegradação anaeróbia

leva à produção de metano, dióxido de carbono, alguns outros gases e resíduo estabilizado (ANDREOLI et al., 2001).

Na digestão anaeróbia, diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia, e novas células bacterianas. Para que os processos metabólicos da digestão anaeróbia ocorram é necessária a atividade conjunta de ao menos três grupos de microrganismos distintos: as bactérias fermentativas ou acidogênicas, as bactérias sintróficas acetogênicas e os microrganismos metanogênicos (LOBATO, 2011). Estes grupos microbioanos e os processos metabólicos podem ser visualizados a seguir (Figura 2).

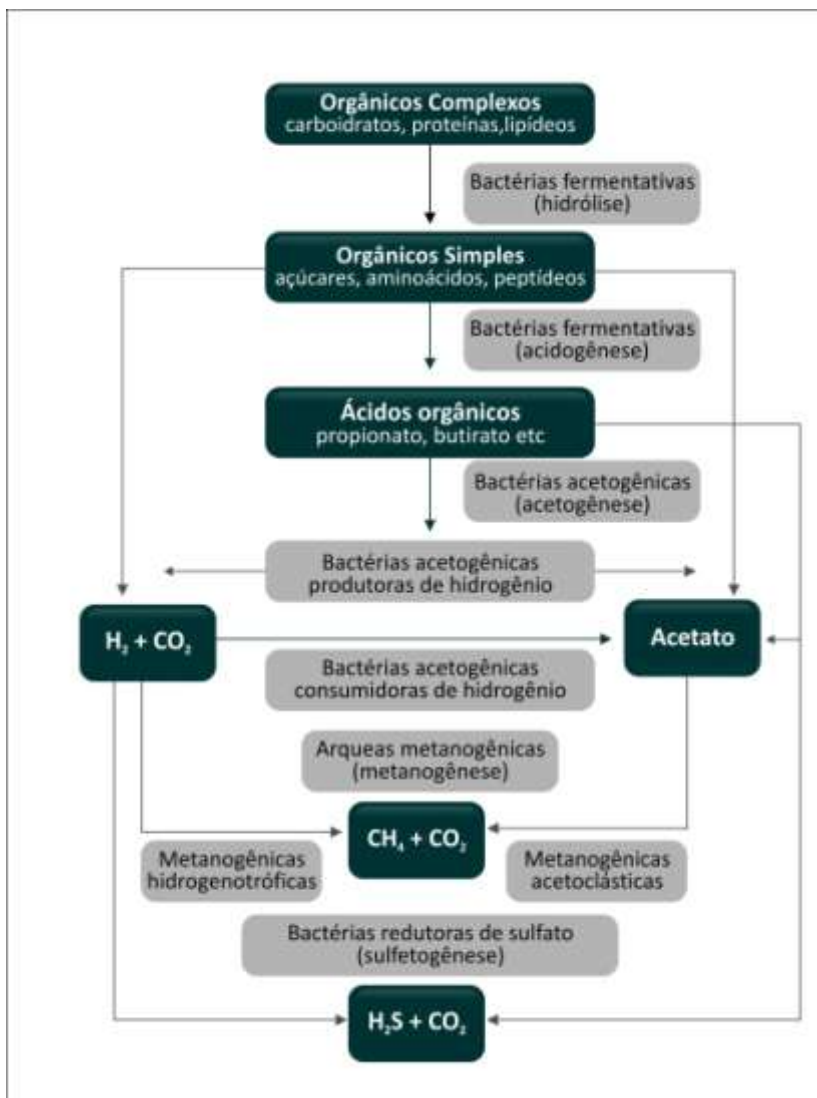


Figura 2: Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

Fonte: Adaptado de CHERNICHARO (2007)

As principais etapas envolvidas no processo de digestão anaeróbia são:



## 1. Hidrólise

Nesta etapa o material orgânico particulado é convertido em compostos solúveis mais simples que serão utilizados pelas bactérias que realizam a fermentação (METCALF & EDDY, 2003).

A hidrólise é a etapa de degradação da matéria orgânica insolúvel e com componentes de alto peso molecular como lipídios, polissacarídeos e ácidos nucleicos em substâncias orgânicas solúveis, como os aminoácidos e ácidos graxos (DONATH, 2010).

## 2. Acidogênese

Os produtos solúveis da primeira etapa (açúcares, aminoácidos e ácidos graxos) são fermentados pelos microorganismos acidogênicos em ácidos orgânicos (principalmente acético, butírico e propiônico), alcoóis e compostos minerais ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) (LOBATO, 2011).

## 3. Acetogênese

Os microrganismos acetogênicos convertem compostos orgânicos intermediários, como propionato e butirato, em substratos apropriados para os microrganismos metanogênicos, como acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. É etapa reguladora no processo de digestão anaeróbia, pois 60 a 70% dos elétrons do substrato original são canalizados para a produção de acetato. Em decorrência, a remoção de DQO da fase líquida depende da conversão de acetato em metano, o que é feito pelos microrganismos metanogênicos acetoclásticos.

## 4. Metanogênese

É a última etapa da digestão anaeróbia, na qual ocorre a conversão do acetato e do hidrogênio produzidos nas etapas anteriores em biogás ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e outros gases) pelas arqueas metanogênicas (CHERNICARO, 2007). Em função de sua fisiologia, as arqueas metanogênicas são divididas em dois grupos principais: i) metanogênicas acetoclásticas e ii) metanogênicas hidrogenotróficas (LOBATO, 2011).

- Metanogênicos acetoclásticos: transformam acetato em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ;

- Metanogênicos hidrogenotróficos: utilizam  $H_2$  como doador de elétrons e  $CO_2$  como aceptor de elétrons para produção de metano.

A mudança de temperatura ou alterações nos substratos ou na concentração de substrato pode levar à paralisação da produção de gás. Esta pode durar até três ou mais semanas, até que o sistema ecológico fique adaptado às novas condições e inicie a produção de biogás novamente sem qualquer intervenção externa. Os processos de metabolismo microbiano são dependentes de vários parâmetros (Tabela 6), então, para um processo ideal de fermentação, vários parâmetros devem ser levados em consideração e ser controlados. Além disso, os requisitos ambientais das bactérias fermentativas, pela qual a hidrólise e a acidificação dos substratos ocorrem, diferem dos requisitos dos microorganismos produtores de metano (DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008).

Essas etapas devem ser mantidas em equilíbrio dinâmico para que a metanogênese ocorra à taxa máxima. A manutenção desse equilíbrio está relacionada à natureza do substrato e à intensidade e disponibilidade de  $H_2$ , visto que este deve ser continuamente retirado do meio para garantir que a produção de ácido acético não seja interrompida ou diminua drasticamente. Essa condição é fundamental para que a fermentação metanogênica prevaleça, sendo  $H_2$  e ácido acético, os mais importantes, responsáveis por aproximadamente 70% do gás metano gerado em reatores anaeróbios (CASSINI, 2003).

Em digestores anaeróbios operados na faixa mesofílica (30 a 35° C), os microrganismos metanogênicos predominantes são os dos gêneros *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter* e *Methanospirillum*, utilizando como substrato o hidrogênio e o  $CO_2$  e dos gêneros *Methanosarcina* e *Methanotrix*, gerando metano a partir de acetato principalmente. O crescimento dos microrganismos metanogênicos é ótimo na faixa de pH de 6,8 a 7,4, sendo os metanogênicos acetotróficos os mais susceptíveis a níveis reduzidos de pH, em que sua taxa de crescimento é máxima por volta do pH neutro, caindo consideravelmente para valores de pH abaixo de 6,6 (CASSINI, 2003).

Muitos dos compostos intermediários formados durante o processo de digestão anaeróbia passam a ser utilizados pelas Bactérias Redutoras de Sulfato, provocando uma competição dessas bactérias com as bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas, pelos substratos disponíveis. Devido a essa competição dois produtos finais passam a ser formados: metano (através da metanogênese) e sulfeto (através da

sulfetogênese), sendo a concentração de sulfato que define qual o processo é predominante. (LOBATO, 2011). Assim sendo, o excesso de sulfatos pode prejudicar a produção de metano, e a sulfetogênese é, portanto, indesejável neste processo. (CHERNICHARO, 2007). Os efeitos que ocorrem na metanogênese de acordo com a presença de sulfetos solúveis podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 6 - Requisitos ambientais

<b>Parâmetro</b>	<b>Hidrólise/Acidogênese</b>	<b>Produção de metano</b>
<b>Temperatura</b>	25 – 35° C	Mesofílico: 32-42° C Termofílico: 50 -58°C
<b>pH</b>	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
<b>Relação C:N</b>	10-45	20-30
<b>Teor de MS</b>	<40% MS	<30% MS
<b>Potencial redox</b>	+400 a – 300mV	<-250mV
<b>Relação C:N:P:S</b>	500:15:5:3	600:15:5:3
<b>Oligo elementos</b>	Sem requisitos especiais	Essencial: Ni, Co, Mo, Se

Fonte: DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008

Tabela 7 - Efeitos dos sulfetos no tratamento anaeróbio

<b>Concentração de sulfetos solúveis (mg/L)</b>	<b>Efeitos na metanogênese</b>
<b>Até 50</b>	Nenhum efeito observado
<b>50 a 100</b>	É tolerável com pouca ou nenhuma aclimação
<b>Até 200</b>	É tolerável com aclimação
<b>Acima de 200</b>	Produz efeitos bastante tóxicos

Fonte: DONATH, 2010.

### 2.2.1 Modelos de Digestores anaeróbios

Um biodigestor é constituído basicamente, de duas partes: câmara de digestão e gasômetro. A câmara de digestão é o local onde a matéria orgânica é degradada, produzindo biogás e biofertilizante, pode ser construído de alvenaria, concreto, fibra de vidro e lonas de PVC ou PEAD. O gasômetro é o local de armazenamento do biogás gerado; localiza-se na parte superior do reator e pode ser construído de alvenaria, chapa de ferro, fibra de vidro ou lona plástica, sendo que a alternativa

mais barata é a que utiliza coberturas de PVC (ALVES, R., 2007; OLIVEIRA, 2004).

Em relação ao abastecimento de biomassa, o biodigestor pode ser classificado como contínuo, isto é, o abastecimento diário de biomassa, com descarga proporcional à entrada de biomassa, ou intermitente/batelada, quando utiliza sua capacidade máxima de armazenamento de biomassa, retendo-a até a completa biodigestão. Então, retiram-se os restos da digestão e faz-se nova recarga. O modelo de abastecimento intermitente é mais indicado quando da utilização de materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção, como no caso de palha ou forragem misturada a dejetos animais.

Quando há disponibilidade dos resíduos líquidos, principalmente de suínos, o interesse volta-se para os biodigestores contínuos como os modelos Indiano e Canadense. Tecnologias como sistemas de agitação, aquecimento e pré-fermentação da biomassa, podem ser associadas a estes biodigestores (OLIVEIRA, 2004).

Os biodigestores contínuos como os modelos: indiano; lagoa anaeróbia coberta (canadense); chinês; filipino, etc. são muito aplicados em comunidades rurais de pequeno e médio porte. É um biodigestor versátil podendo fazer uso de diferentes resíduos orgânicos animais e vegetais. Quanto à sua operação, requer uma carga diária e o manuseio do resíduo (diluição e homogeneização) (OLIVEIRA, 2004).

O processo é considerado contínuo porque a cada carga diária (afluente), corresponde a uma descarga de material digerido (efluente). A biomassa do biodigestor se movimenta por diferença da pressão hidráulica, dentro do biodigestor, no momento da carga. Cada carga requer um tempo de retenção entre 30 a 50 dias, dependendo das variações climáticas (temperatura) e da temperatura da biomassa. Estes modelos de biodigestores são subterrâneos, isto para evitar as mudanças bruscas de temperatura da biomassa. Para aumentar a eficiência (velocidade) da digestão anaeróbia, pode-se utilizar "high rate digesters"(digestores de alta taxa), ou seja, o processo convencional pode ser dotado de um sistema de agitação (hélice ou circulação com bomba hidráulica) e de um sistema de controle de temperatura na biomassa (troca de calor), o que permite reduzir o tempo de retenção, para 10 a 20 dias e aumentar significativamente a produção de biogás (OLIVEIRA, 2004).

Modelo Indiano:

Este modelo possui uma campânula (tampa cônica) como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória é fazer com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação.

O modelo Indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantém a pressão em seu interior constante. O resíduo utilizado para alimentar o biodigestor Indiano deve apresentar uma concentração de ST (sólidos totais) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material. O abastecimento deve ser contínuo, ou seja, geralmente é alimentado por dejetos bovinos e/ou suínos, que apresentam certa regularidade no seu fornecimento. (DEGANUTTI et. al, 2002 apud PRATI,2010).

Do ponto de vista construtivo, apresenta-se de fácil construção, contudo o gasômetro de metal pode encarecer o custo final (PRATI, 2010). Podemos visualizar o modelo indiano a seguir (Figura 3).



Figura 3 – Biodigestor Modelo Indiano

Fonte: Castanho, 2008.

Modelo Chinês

O biodigestor modelo chinês (Figura 4) é mais rústico e completamente construído em alvenaria, com teto impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que os aumentos de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão (GASPAR, 2003; PRATI, 2010).

Por ser quase que totalmente em alvenaria, dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos, contudo as paredes precisam da aplicação de impermeabilizante, como forma de impedir infiltrações de água (proveniente da água absorvida pelo solo durante as chuvas ou de algum lençol freático próximo), trincas ou rachaduras. Neste tipo de biodigestor, uma parcela de gás formado na caixa de saída é libertada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás (GASPAR, 2003; PRATI, 2010).

Por estas características os biodigestores modelo Chinês não são utilizados para instalações de grande porte. Semelhante ao modelo Indiano, o substrato deve ser fornecido continuamente, com a concentração de ST em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material (DEGANUTTI et AL, 2002 apud PRATI, 2010).



Figura 4 – Biodigestor modelo Chinês  
Fonte: Castanho, 2008.

#### Modelo Lagoa Anaeróbia Coberta

Também conhecido como Modelo Canadense ou da Marinha Brasileira, é um modelo de tipo horizontal, ou seja, tem largura maior e

uma profundidade menor (mais longo e raso), por isso sua área de exposição solar é maior, o que acarreta uma maior produção de biogás. Com paredes revestidas por lona impermeável e uma cúpula de lona (preta quando se deseja aproveitar melhor o aquecimento pela luz solar) também impermeável. Esta cúpula é de plástico maleável, tipo PVC, que infla com a produção de gás, como um balão. Para que o gás saia do biodigestor com pressão suficiente para ser utilizado costuma-se colocar sacos de areia ou pneus velhos sobre a campânula. (LINDEMEYER, 2008).

Inicialmente, no Brasil, o modelo Indiano foi o mais difundido pela sua simplicidade e funcionalidade. Recentemente, a lagoa anaeróbia coberta, com cobertura de lona de PVC, vem ganhando maior espaço em virtude dos menores custos e facilidade de implantação. A vantagem deste processo está na produção constante de biogás que é relacionado com a carga diária de sólidos voláteis. (OLIVEIRA, 2004). Além de apresentar maior resistência à corrosão provocada pela água e pelo ácido sulfídrico presente na mistura gasosa e poder ser utilizado tanto em pequenos como em grandes projetos (PRATI,2010).

Sua maior barreira seria a disponibilidade de espaço físico para a instalação. Por ter uma profundidade pequena, necessita de uma grande área superficial para que consiga armazenar uma grande quantidade de resíduos (PRATI,2010).

Esse modelo é o mais indicado para grandes projetos, industriais e agroindustriais, por ser versátil ao uso de diferentes resíduos orgânicos e ser capaz de armazenar grande quantidade de resíduos passíveis de fermentação anaeróbica, produzindo assim uma grande quantidade de biogás e estabilizando os dejetos que, posteriormente, podem ser utilizados como biofertilizantes (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006 apud PRATI, 2010).

A seguir podemos observar uma foto do modelo canadense e o depósito de biofertilizante (Figura 5).



Figura 5 - Biodigestor modelo canadense e depósito de biofertilizante, revestidos em lona de PVC, para a produção de biogás e armazenamento de resíduo. Fonte: Oliveira, 2004.

Para este modelo também se recomenda a construção abaixo do nível do solo para evitar variações bruscas de temperatura, além de aproveitar o calor da terra e o calor absorvido pela manta preta exposta ao sol, sendo que 90% do aquecimento do biodigestor é obtido com raios solares incidentes na lona preta, o que acaba garantindo uma melhor temperatura de funcionamento e conseqüentemente uma maior produção de biogás com maior concentração de metano (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006 apud PRATI,2010).

Se misturado com oxigênio dentro do biodigestor, o biogás apresenta risco de explosão. No início da operação os registros de saída do biogás devem estar fechados até que a manta que retém o biogás esteja completamente inflada. Em seguida libera-se todo o biogás contido até a manta retornar a sua posição inicial, após fecha-se os registros de saídas para que novamente a manta se infle, a partir deste momento o biodigestor pode ser usado normalmente. Mesmo que exista vazamento no biodigestor, o ar não entrará no biodigestor, pois a pressão interna da manta é maior que a pressão atmosférica, mas assim que o vazamento seja detectado o mesmo deve ser reparado para evitar quaisquer futuros problemas (PRATI, 2010).

O biogás produzido pode ter o seu conteúdo energético aproveitado na própria atividade, em aquecimento ambiental, refrigeração, iluminação, incubadores, misturadores de ração, geradores de energia elétrica, etc. O



biofertilizante deve ser encarado como um benefício a mais, podendo ser aproveitado como adubo orgânico (OLIVEIRA, 2004).

### 2.2.2 Co-digestão

Co-digestão é a digestão simultânea de uma mistura homogênea de dois ou mais substratos. A situação mais comum é quando uma quantidade maior de um substrato principal (por exemplo, estrume ou lodo de esgoto) é misturado e digerido junto com porções menores de um ou mais substratos adicionais.

A expressão co-digestão é usada independente da proporção dos respectivos substratos usados simultaneamente.

A co-digestão é uma opção interessante para melhorar o rendimento da digestão anaeróbia. Ou seja, o uso de um co-substrato, que na maioria dos casos melhora o rendimento de biogás, devido à sinergia positiva criada no meio de digestão e ao fornecimento pelos co-substratos de nutrientes faltantes. Além disso, as vantagens econômicas derivadas do fato de partilha de equipamento são bastante significativas. Às vezes, o uso de um co-substrato também pode ajudar a estabelecer o conteúdo de umidade necessária da alimentação do digestor (Mata-Alvarez et al. , 2000).

A co-digestão de um substrato que tem uma baixa relação C:N com um substrato que tem uma alta relação C:N como a biomassa, pode deixar a relação mais próxima do ideal (Ward et al., 2008).

Durante a última década, diversos resíduos orgânicos de origem não agrícola têm sido integrados como co-substratos em sistemas de digestão anaeróbia de resíduos pecuários. Os substratos adicionais aplicados nessas condições são principalmente derivados de indústrias agro-alimentares e de resíduos domésticos ao cuidado dos municípios. Os exemplos mais comuns têm sido:

- restos de comida de cantinas, hospitais e cozinhas;
- resíduos de flotação, gorduras orgânicas provenientes de separadores, óleos vegetais usados, etc;
- resíduos de matadouros e de processamento de sub-produtos (fezes, sangue, conteúdos estomacais e viscerais, gorduras);
- resíduos orgânicos da indústria de processamento de alimentos (restos de vegetais e frutas, bagaços de destilação, águas ruças, resíduos do processamento de peixe, borras, etc.);
- resíduos orgânicos da indústria bioquímica (bagaços de fermentação), da indústria têxtil (águas residuais) e da indústria farmacêutica; e

- fração orgânica, separada na origem, de resíduos sólidos urbanos.

Geralmente, estes co-substratos são digeridos em combinação com chorumes e estrumes animais como substrato predominante.

De acordo com a experiência existente em sistemas coletivos centralizados, em particular no caso dinamarquês, a mistura de diferentes substratos apresenta resultados vantajosos a diversos níveis:

- a produção de biogás por unidade de massa de substrato processado é melhorada quando aos chorumes e estrumes são adicionados resíduos orgânicos com concentrações mais elevadas de matéria orgânica digerível;

- alguns materiais que, quando utilizados sozinhos, são de difícil digestão (p.e. gorduras puras, açúcar puro, etc.) devido a relações C/N inadequadas ou a outros fatores de inibição, ao serem misturados com outros resíduos de decomposição mais fácil (estrumes, chorumes, resíduos domésticos orgânicos, etc.), passam a representar um substrato mais “apetecível” para os microrganismos;

- os resíduos sólidos, quando misturados com chorumes líquidos, são transformados em lamas bombeáveis, o que facilita não só o seu manuseamento, como a própria digestão devido a um melhor contacto entre os microrganismos e a matéria orgânica no substrato;

- processamento conjunto de diferentes resíduos proporciona significativas vantagens de escala quando comparado com a digestão em sistemas individuais;

- devido à uniformidade do produto digerido, ao seu teor em nutrientes e à organização da sua distribuição, o resultado é um mecanismo relativamente barato e ambientalmente satisfatório para reciclar resíduos orgânicos que, sozinhos, dificilmente seriam reciclados por essa via.

No entanto, deve-se levar em conta que o processamento de co-substratos poderá ser feito desde que a sua utilização:

- não afete o normal desenvolvimento do processo biológico,
- não dificulte o manuseamento mecânico da mistura de resíduos,
- não introduza cargas elevadas de organismos patogênicos,
- não inviabilize a aplicação em solo agrícola devido à introdução de metais pesados ou outras substâncias limitantes; ou

- não condicione qualquer tratamento adicional necessário para proporcionar um destino final adequado aos produtos finais do processo.

(ADENE,2003).

## **2.3 Biogás**

### **2.3.1 Composição e características do biogás**

O biogás, gás produzido durante o processo de digestão anaeróbia, é constituído por uma mistura de gases como o metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), seguido em menores concentrações por hidrogênio (H<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), entre outros. Geralmente, à saída do digestor, o biogás apresenta-se saturado em vapor de água. A composição do biogás depende da natureza do resíduo digerido e das condições em que a digestão anaeróbia se processa. (MONTE , 2010). Na Tabela 8 apresentam-se os intervalos típicos dos vários gases presentes no biogás de acordo com COSTA (2006).

Tabela 8 - Concentrações dos gases que compõe o biogás

Gás	% vol
<b>Metano (CH<sub>4</sub>)</b>	de 50 a 90
<b>Gás carbônico (CO<sub>2</sub>)</b>	de 10 a 50
<b>Hidrogênio (H<sub>2</sub>)</b>	de 0 a 1
<b>Gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S)</b>	de 0 a 3
<b>Oxigênio (O<sub>2</sub>) + Nitrogênio (N<sub>2</sub>)</b>	de 0 a 1

Fonte: (adaptado de Costa, 2006)

A proporção de cada gás depende de vários parâmetros, como o tipo de biodigestor e o substrato a digerir, mas a mistura é essencialmente constituída por metano e dióxido de carbono. Seu poder calorífico está diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura gasosa (COSTA, 2006).

A reação de oxidação do metano (CH<sub>4</sub>) é exotérmica, capaz de liberar uma quantidade maior de energia que a fermentação da glicose:

Fermentação da glicose:  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 HCO_3 + 3 CH_4 + 3 H - 404KJ$

Oxidação do metano:  $3 CH_4 + 6 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 6 H_2O - 2280KJ$

Fonte: Costa, 2006.

As propriedades energéticas do biogás derivam do seu principal constituinte, o metano. O metano é um gás incolor, inodoro e inflamável, e um dos seis principais gases que contribuem para o aquecimento global (MONTE,2010). O valor do seu Potencial de Aquecimento Global (PAG) expresso em CO<sub>2</sub> equivalente é 21, isto significa que o CH<sub>4</sub> apresenta um potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao do CO<sub>2</sub>.

Os restantes constituintes do biogás, apesar de estarem presentes em quantidades muito limitadas, podem afetar o seu rendimento. Portanto é importante conhecer as propriedades que lhe estão associadas e como estas podem influenciar o seu rendimento. Pela sua importância,

destacam-se as seguintes propriedades do biogás (CCE, 2000 apud MONTE, 2010):

- Poder Calorífico Inferior (PCI): corresponde à energia liberada, de uma massa de combustível, sob a forma de calor, não incluindo a energia despendida na vaporização da água presente no combustível. Este parâmetro permite aferir a medida exata do conteúdo energético útil do combustível, o poder calorífico do biogás depende da concentração do metano (Figura 6).
- Limites de inflamabilidade: correspondem às percentagens mínima e máxima de um combustível numa mistura ar/combustível para as quais essa mistura se inflama. São um parâmetro crítico na combustão com biogás, devido à diluição do  $\text{CH}_4$  com  $\text{CO}_2$  e outros gases inertes. Os limites de inflamabilidade do metano vão de 5 a 15%.

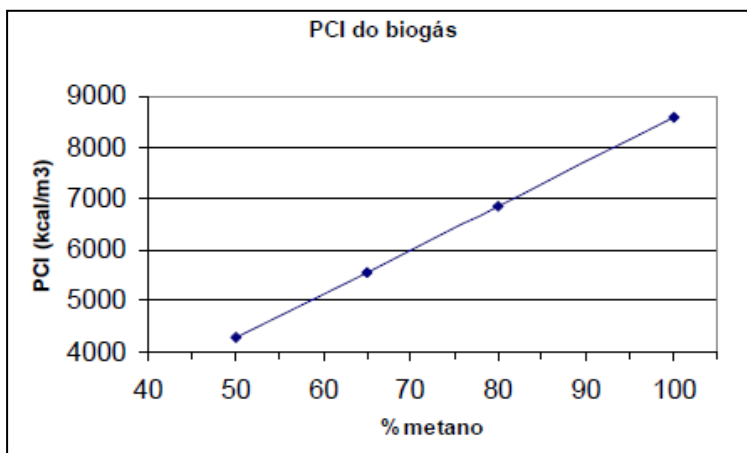


Figura 6 – Poder calorífico inferior por concentração de metano.

Fonte: LIMA, 2005.

Segundo Costa, 2006, a quantidade de biogás gerado varia sob a influência dos seguintes fatores:

- Composição dos resíduos: quanto maior a percentagem de material orgânico no resíduo, maior o potencial de geração de metano e vazão de biogás;

- Ambiente anaeróbio: para que haja produção de biogás, a matéria orgânica deve sofrer decomposição em ambiente sem oxigênio.
- Umidade: fundamental à vida das bactérias decompositoras.
- pH e temperatura: as bactérias metanogênicas atingem maior produtividade a pH entre 6,8 e 7,2, e temperaturas entre 32 e 35 °C. Geralmente, o calor necessário para que ocorra a metanogênese é fornecida pela própria decomposição.

### 2.3.2 Usos para o biogás

O biogás, com poder calorífico inferior entre 4.300 e 6.850 Kcal·m<sup>-3</sup>, é uma fonte primária de energia. Ele pode substituir outros combustíveis usados na indústria. Quando se compara o metro cúbico de biogás contendo 5.500 kcal (PCI) com outros combustíveis, obtêm-se o correspondente a: 1,1 litro de álcool anidro; 1,14 litro de álcool hidratado; 2,17 kg de lenha; e 0,7 litro de gasolina (LIMA, 2005). Uma tabela comparando o poder calorífico de vários combustíveis de acordo com Alves, J. (2000) encontra-se no Anexo A.

Para Costa (2006), o estudo da viabilidade de emprego do biogás se inicia avaliando a equivalência energética entre o biogás e o combustível a ser substituído. Além do poder calorífico é necessário avaliar também a presença de contaminantes, acidez e pressão. Assim, pode-se realizar uma previsão adequada das adaptações necessárias ao emprego do biogás, quer seja como único recurso energético ou como combustível complementar.

Dependendo da aplicação do biogás pode ser necessária a redução da concentração de H<sub>2</sub>S; CO<sub>2</sub>; redução da umidade ; e elevação da pressão. (COSTA,2006). A tabela apresentada no Anexo B mostra as principais características físico-químicas do gás natural que, segundo Costa (2006), podem ser tomadas como referência em análises visando o aproveitamento energético do biogás.

O biogás, pode ser recuperado para diversos fins, como: (i) combustível em caldeiras, fornos e estufas em substituição aos outros tipos de combustíveis; (ii) geração de eletricidade para uso local ou venda para a rede da concessionária de energia; (iii) co-geração de eletricidade e calor e (iv) combustível alternativo visando à injeção na linha de gás natural ou o aproveitamento como combustível veicular. (LOBATO, 2011).

Em residências é mais usado para aquecimento de água, refrigeração de alimentos, iluminação e cocção de alimentos. Em indústrias para

aquecimento de caldeiras, fornos, etc. Em estações de tratamento de esgoto em processos térmicos para higienização do lodo da própria estação. Em todos esses casos, o biogás pode servir também como combustível para motores adaptados para gerar eletricidade. (LIMA, 2005).

Para iluminação o biogás pode ser usado em lâmpões a gás, ou em sistemas de iluminação a gás que utilizam o gás natural canalizado,

#### 2.3.2.1 Uso do biogás para gerar eletricidade

A geração de eletricidade a partir do biogás pode ser feita por duas tecnologias diferentes: as turbinas e os motores de combustão interna (ciclo-Otto) com geradores. (CENBIO, 2004).

Nas turbinas o biogás é comprimido e segue para a câmara de combustão. Na combustão, o gás atravessa ao longo da turbina movendo suas pás. Esta movimentação aciona o gerador, produzindo uma tensão. A pressão e a temperatura do gás diminuem ao longo da turbina. O rendimento das turbinas a gás é maior quanto maior a temperatura de entrada e menor a pressão de saída (LIMA, 2005).

Já na turbina de ciclo Brayton, o ar é comprimido na entrada e segue para a câmara de combustão, onde ocorre a mistura com o combustível e a queima. A mistura em alta temperatura e pressão atravessa a turbina movimentando as pás. Movendo o gerador de corrente elétrica e o compressor de entrada (LIMA, 2005).

Nos motores de Ciclo-Otto, o combustível e o ar são comprimidos pelo pistão e recebem a centelha, que causa a ignição da mistura. A explosão empurra o pistão, gerando movimento (energia mecânica). Parte da energia do combustível se transforma em energia térmica, saindo junto com o gás de exaustão. Neste caso, o biogás seria o combustível e conectando o motor a um alternador pode-se gerar eletricidade (LIMA, 2005).

Aproveitar o biogás gerado no tratamento dos resíduos para gerar energia é uma alternativa particularmente interessante no meio rural brasileiro, que possui uma deficiência da utilização de energia elétrica, segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2006).

#### 2.3.2.2 Co-geração

Parte do calor dos gases de exaustão do processo de combustão pode ser recuperado, utilizando-se trocadores de calor. A produção simultânea de energia térmica e energia elétrica a partir do uso de um combustível é

conhecida como cogeração. Segundo Petrobrás Distribuidora (2005) apud LIMA (2005), com o processo de cogeração o aproveitamento de energia do combustível pode chegar a 80%. Os principais benefícios da cogeração são: a auto-suficiência energética, a qualidade da energia elétrica, a melhora da eficiência energética do processo e a redução dos impactos ambientais.

Um esquema de um sistema de cogeração pode ser visualizado a seguir (Figura 7).

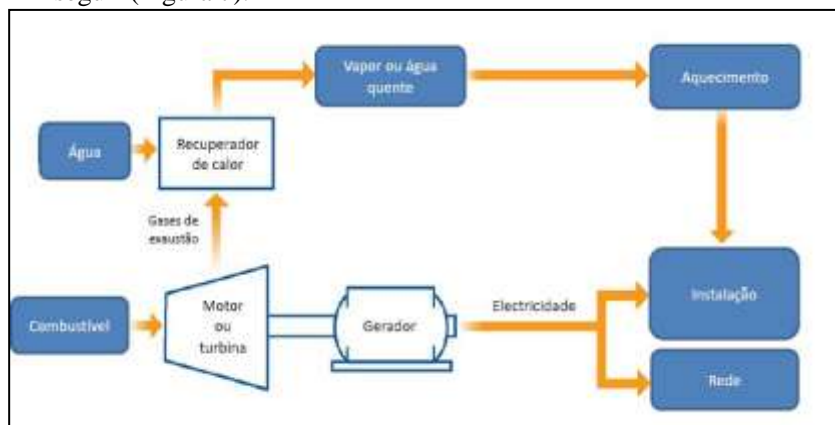


Figura 7 - Representação esquemática de um sistema de cogeração por motor e por turbina.

Fonte: Monte, 2010.

### 2.3.2.3 Uso do biogás como substituto do gás natural

Juntamente com o seu papel convencional em eletricidade e produção de calor, o biogás pode também ser usado como um substituto do gás natural. Isto requer um tratamento do biogás até que tenha a mesma qualidade do gás natural para que possa ser injetado na rede de gás natural como "biometano".

O biogás uma vez purificado é denominado de biometano, um biocombustível que pode ser usado na geração de energia elétrica, aquecimento em estufas, fornos, fogões e em veículos automotores já convertidos para GNV (Gás Natural Veicular). O biometano com uma composição de 95% de metano compõe-se de um excelente combustível veicular (ALVES, J. 2000). A emissão de poluentes na queima do biometano é menor que a dos combustíveis fósseis, além disso, tem a grande vantagem ambiental da produção do mesmo ter origem no

tratamento de resíduos potencialmente poluidores. A produção de biometano tende a crescer no país com a implantação de reatores anaeróbios e com a produção de biogás (SOUZA,2010).

O gás metano é um combustível que se adapta bem à substituição dos combustíveis tradicionais para motores que funcionam através da ignição por centelhamento, sejam motores de quatro tempos (ciclo Otto) ou motores de dois tempos. Qualquer processamento desta substância seja compressão, expansão, evaporação, variação de temperatura, liquefação ou transporte exigirá um tratamento termodinâmico como qualquer outro gás. (AVELLAR et. al., 2008 apud SOUZA, 2010).

Diversas vantagens são advindas do uso do metano em veículos automotores, pode ser usado perfeitamente em motores bicomustíveis, principalmente os que funcionam com álcool e GNV, pelas taxas de compressão compatíveis. Gera o menor volume de gases poluentes ao meio ambiente se comparado à gasolina, diesel e ao álcool. Proporciona maior durabilidade ao motor e menos desgastes, quando corretamente instalado. Por ser um combustível mais limpo, o gás não deixa acumular resíduos nos bicos injetores, proporcionando maior limpeza da injeção. Aumenta o intervalo de troca de óleo, já que não há contaminação do lubrificante, o prazo de troca pode aumentar 1000 ou 2000km. Além disso, por ser mais leve que o ar, o gás metano, em caso de vazamento, se dissipa na atmosfera, reduzindo o risco de explosões e incêndios (MacLean & Lave, 2003 apud SOUZA, 2010).

Como já visto, o biogás gerado na digestão anaeróbia, em seu estado inicial além do gás metano, também possui dióxido de carbono, ácido sulfídrico, amônia, vapor d'água e traços de metais pesados. Estes componentes reduzem o desempenho, prejudicam a queima, causando corrosão e desgaste das partes internas dos motores e dos sistemas de queima. Em seu estado inicial possui de 45 % a 70% de gás metano, o que significa reduzido potencial energético se comparado com o estado final após a filtração. Em sua forma inicial não é indicado para utilização diretamente em motores veiculares.

A filtragem é uma preparação do biogás que pode dobrar sua capacidade energética, reduz seu volume e transforma biogás em biometano.

A composição do biogás depende da biomassa, região e condições onde é produzido. O sistema de tratamento depende do nível dos materiais contaminantes e tecnologias que serão utilizadas. A função dos filtros é remover essas partículas que prejudicam o sistema da queima em motores e turbinas. Os filtros baseiam-se nos princípios da condensação, absorção,



lavagem, entre outros, dependendo do tipo do filtro e das partículas filtradas (Park, et al, 2004 apud SOUZA,2010).

### 2.3.3 Requisitos de tratamento do biogás para diferentes tipos de uso

Na seleção da tecnologia de conversão, além do poder calorífico, da produção e composição do biogás, é necessário que se observem outras propriedades como presença de umidade, pressão, contaminantes, gases inertes e gases ácidos, estes últimos responsáveis por corrosão precoce dos equipamentos e emissões de poluentes. Tais considerações colaboram para uma previsão apropriada das adaptações necessárias ao emprego do biogás, seja como único recurso energético ou como combustível complementar (LOBATO, 2011).

Para qualquer tipo de uso que se queira fazer do biogás, será necessário algum tipo tratamento. Esse tratamento poderá ser pequeno, no caso de usos menos nobres como a combustão direta, com a simples remoção de condensado; como bastante completo, quando se deseja a injeção na linha de gás natural ou a utilização como combustível veicular (CHERNICHARO e STUETZ, 2008).

O condensado se forma quando a temperatura do gás retirado do interior do reator está superior à do interior do sistema de coleta, devido ao seu resfriamento ao longo da tubulação de transporte. Se não for removido, o condensado pode bloquear o sistema de coleta e interromper o processo de recuperação de energia. Portanto, apesar de simples, a remoção de condensado é importante em qualquer sistema de coleta de biogás. O controle se inicia já no início do sistema de coleta de biogás, com a utilização de declividades apropriadas para as tubulações, de modo a permitir a drenagem do condensado, seja para o interior do reator ou para pontos de purga (USEPA, 1996 apud LOBATO,2011).

Já quando deseja-se obter uma qualidade que possibilite a injeção na linha de gás natural, devem ser removidos todos os compostos prejudiciais, como o  $H_2S$ ,  $CO_2$  e  $N_2$ . Apesar destes dois últimos serem gases inertes, devem ser removidos por que reduzem o valor calorífico do biogás (LOBATO,2011).

O custo do tratamento do biogás dependerá da pureza necessária para a aplicação pretendida, sendo o custo de um filtro de gás, para remover condensados visando à produção de energia, consideravelmente inferior ao custo da remoção de dióxido de carbono e outros constituintes, para o caso de injeção na linha de gás natural ou para conversão em combustível veicular (USEPA, 1996 apud LOBATO,2011).

Um resumo dos níveis de tratamento requeridos para os diferentes tipos de uso do biogás é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Níveis de tratamento requerido para diferentes tipos de uso do biogás

Tipo de uso do biogás	Nível de tratamento			Outros requisitos
	Remoção de água	Remoção de $H_2S$	Remoção de $CO_2$	
<b>Combustão direta (Queimadores abertos e queimadores fechados)</b>	Tratamento parcial	Nenhum a tratamento parcial ( $H_2S < 5$ ppmv no caso de queimadores fechados**)	Nenhum tratamento	De-foaming (controle de espuma) Compressão* Temperatura $\geq 900^\circ C^{**}$ Tempo de residência $\geq 0.3s^{**}$ Hidrocarbonetos $\leq 150$ mg/m <sup>3</sup> **
<b>Uso direto para geração de calor (ex. combustível para caldeiras e aquecedores)</b>	Tratamento parcial	Nenhum a tratamento completo	Nenhum tratamento	-
<b>Co-geração de eletricidade e calor a partir de motores de combustão interna</b>	Tratamento parcial a completo	Tratamento parcial a completo ( $H_2S < 200$ ppm)	Nenhum a tratamento completo	-
<b>Co-geração de eletricidade e calor a partir de turbinas e micro-turbinas</b>	-	Turbina ( $H_2S < 10000$ ppmv) Micro-turbina ( $H_2S < 50$ ppmv)	-	Pressão do combustível nas micro-turbinas: 345-552 kPa
<b>Injeção na rede de gás natural</b>	Tratamento completo (umidade $< 70-80\%$ )	Tratamento completo ( $H_2S < 5$ mg/m <sup>3</sup> )	Tratamento completo ( $CH_4 \geq 95\%$ )	Compressão: 60-70 bar
<b>Motores a gás (ex.: combustível veicular)</b>	Tratamento completo (umidade $< 70-80\%$ )	Tratamento completo ( $H_2S < 1000-2000$ mg/m <sup>3</sup> )	Tratamento completo	Compressão: 200 bar Teor energético: 13-21 MJ/m <sup>3</sup>

\* pode ser necessário se a pressão do biogás for muito baixa

\*\* Requisitos da Norma Holandesa de Emissões (NER 3.5/90.1)

Fonte: LOBATO, 2011.

O sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) é corrosivo a equipamentos, como caldeiras, tubulações e peças de motores. O conteúdo de  $H_2S$  no biogás, em níveis superiores a 300-500 ppm, podem causar danos aos equipamentos de conversão energética. A remoção de  $H_2S$  é ainda necessária devido a problemas de poluição atmosférica, pois a sua queima pode resultar na formação de dióxido de enxofre ( $SO_2$ ), aumentando o potencial de chuvas ácidas (SMET e van LANGENHOVE, 1998 apud LOBATO, 2011). É importante ressaltar que dependendo do teor de  $H_2S$  no biogás, essas emissões são menores que aquelas observadas para óleos combustíveis.

#### 2.3.4 Sistemas coletivos centralizados

As informações deste item foram baseadas em ADENE, 2003. De forma geral, uma estação coletiva de biogás pode ser representada pela figura seguinte (Figura 8). Nela estão ilustradas as principais opções em termos do fornecimento de resíduos e do escoamento dos produtos finais da instalação.

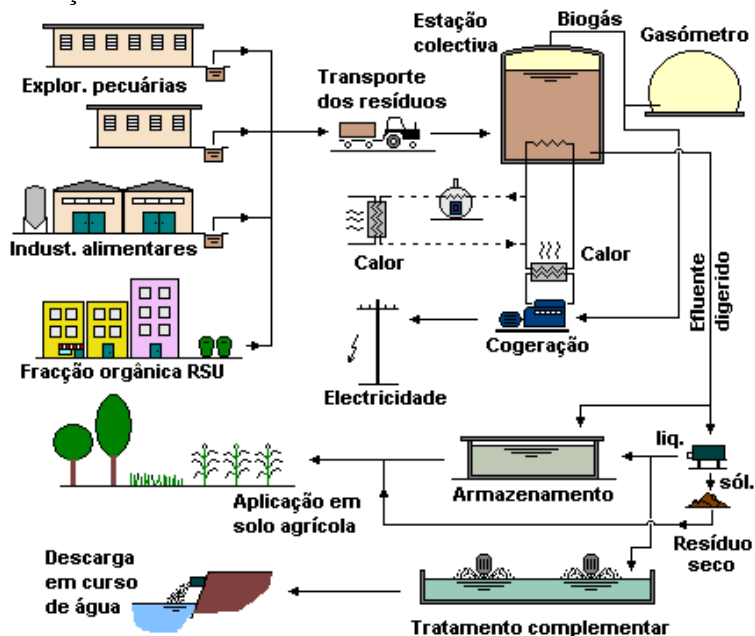


Figura 8 - Exemplo esquemático de sistemas coletivos centralizados de digestão anaeróbia.

Fonte: ADENE, 2003

Em geral, as instalações coletivas centralizadas processam resíduos pecuários, embora, em muitos casos, recebam também outros resíduos orgânicos como co-substratos. Este complemento pode proporcionar uma fonte adicional de receitas, quer através da cobrança de taxas de admissão, quer através do aumento da produção de biogás. Os sistemas centralizados podem servir desde um número limitado de instalações até diversas unidades de pequena/média dimensão num raio de 10 km (ADENE,2003).

O produto digerido pode ser reciclado pelos agricultores da região mediante espalhamento em solo agrícola nas épocas apropriadas, assegurando-se assim uma utilização mais eficiente dos nutrientes. A separação e compostagem da fração sólida do produto digerido pode proporcionar um produto valorizável mediante venda a terceiros.

Alguns dos aspectos que caracterizam os sistemas coletivos centralizados são os seguintes:

- sistemas termofílicos ou mesofílicos
- tempos de retenção entre 12 e 20 dias
- substrato primário composto por resíduos pecuários
- co-substratos de origem industrial ou na forma de RSU
- gestão profissional do sistema
- possibilidade de higienização dos produtos
- maior facilidade de comercialização do produto

Um das particularidades mais relevantes deste tipo de sistema é a necessidade de se proceder ao transporte dos resíduos desde os locais de origem até à unidade de processamento coletivo. Essa situação traz custos acrescidos de operação, com influência na sustentabilidade financeira do sistema.

## **2.4 Exemplos no Mundo**

Como exemplos da utilização do biogás em outros países apresentam-se a seguir o caso da Alemanha e de uma cidade na Suécia.

### **2.4.1 Panorama Geral da Alemanha**

A aplicação de processos de digestão anaeróbia para a produção de biogás tem aumentado significativamente na Alemanha desde o Ato Fontes de energia Renováveis (EEG), que garante uma remuneração fixa paga a electricidade produzida por um período de 20 anos após o ano de comissionamento, e entrou em vigor em 1 de abril de 2000. A compensação paga no ano 2002 por quilowatt-hora ficou entre 10,1 e 8,6

Euro-Cent (€-Cent), dependendo da capacidade instalada elétrica. O valor da compensação a ser paga a partir do ano 2012 por quilowatt-hora é entre 6 e 25 Euro-Cent. Portanto, a produção de biogás tornou-se uma atraente fonte de renda extra para muitos agricultores. Ao mesmo tempo, os aspectos de proteção ambiental ganharam mais importância, de forma que os processos de tratamento anaeróbio tornaram-se uma tecnologia fundamental para a proteção ambiental e climática e para a conservação dos recursos de combustíveis fósseis.

No setor agrícola, diferentes tipos de plantas de biogás são utilizados na Alemanha, que diferem em tamanho, formato do reator condições de operação, e os substratos utilizados para produção de biogás. No final de 2001, cerca de 1650 unidades de biogás agrícola com capacidade elétrica instalada de 140 MW estavam em operação. Aproximadamente 95% de todas as plantas biogás são de escala de fazenda, com tamanhos de reator típico entre 200 e 1.200 m<sup>3</sup>. Apenas cerca de 5% de todas as unidades de biogás são grandes instalações centralizadas baseadas na utilização de estrume animal junto com co-substratos não-agropecuários. As capacidades de tratamento destas plantas são entre 30.000 e 90.000 m<sup>3</sup>/ano, mas plantas com capacidades de até 140 mil m<sup>3</sup>/ano também estão em operação. (WEILAND, 2003).

#### 2.4.2 O Caso de Linköping, Suécia

Todas as informações deste item foram baseadas no documento da Internacional Energy Agency –IEA (2006).

Linköping é uma cidade no centro de um distrito agrícola nas planícies do leste da Suécia., com 140 mil habitantes. O potencial para geração de biogás vem da disponibilidade de estrume de bovinos e suínos da área que podem ser co-digeridos com resíduos de matadouro e resíduos orgânicos provenientes de outras indústrias alimentícias da área.

No início dos anos 90, a cidade de Linköping estava em processo de converter a frota de ônibus para um combustível alternativo, a fim para reduzir a poluição local de ônibus a diesel. A alternativa mais interessante era o gás natural. A expansão da rede de gás natural desde o sul da Suécia até para as partes centrais da Suécia foi adiada e assim a cidade de Linköping por conta disso decidiu usar o biogás produzido localmente como combustível na frota de ônibus urbanos. Linköping Biogás AB foi formada em 1995 como resultado de cooperação entre a cidade de Linköping, o matadouro local e a associação de agricultores.

A empresa decidiu em 1995 construir uma usina de biogás capaz de abastecer todos os ônibus da cidade com gás. O trabalho de construção começou em março de 1996 e a planta entrou em operação em dezembro de 1996. A seguir mostra-se o balanço de massa nas entradas e saídas da planta de biogás (Tabela 10).

Tabela 10 - Planta de biogás - entradas e saídas (2005)

<b>ENTRADA</b>	<b>Toneladas/ano</b>
<b>Esterco de suínos e de gado</b>	2000
<b>Resíduos Matadouro</b>	30.000
<b>Resíduos orgânicos industriais</b>	6000
<b>Lixo doméstico</b>	250
<b>Outros</b>	7.000
<b>TOTAL</b>	45.000
<b>SAÍDA</b>	
<b>Bio-fertilizantes certificados para a agricultura</b>	52000
<b>Outros</b>	0
<b>TOTAL</b>	52.000 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Água é adicionada ao processo para reduzir o teor de matéria seca no digestor

Fonte: IEA, 2006.

#### Estação de abastecimento de ônibus e postos

O biogás tratado é utilizado em ônibus, caminhões e em veículos leves (carros particulares, táxis). Linköping teve os primeiros 27 ônibus em 1997 e esse número foi aumentado para 45 ônibus em 1998. Em 2000, 60 ônibus estavam em operação em biogás e desde 2002 todos os ônibus a diesel em operação em Linköping foram substituídos por ônibus a biometano.

Os ônibus usam o sistema de enchimento lento ou seja, os ônibus são estacionados ao lado de um bico de gás que fica ligado ao ônibus à noite e o ônibus é reabastecido durante a noite. Esta estratégia de reabastecimento permite que a capacidade de armazenamento de gás seja reduzida ao mínimo e também reduz os requisitos de capacidade para os compressores de gás.

Já postos de combustível são usados por carros particulares, bem como por táxis e veículos de diferentes empresas. Existem 12 postos públicos de abastecimento em Linköping.

A produção de biogás equivale a cerca de 48.000 MWh / ano e estima-se que destes, 45000 MWh / ano sejam entregues aos veículos. A unidade de biogás Linköping tornou possível diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> a partir de transporte urbano em 9.000 toneladas por ano e também para diminuir o as emissões locais de óxidos de enxofre, poeira e nitrogênio. A planta também tornou possível substituir fertilizantes artificiais por biofertilizantes. O biogás anualmente substitui 5.500.000 l da gasolina e do diesel diminuindo assim a necessidade de importação de combustíveis fósseis.

### Considerações

A unidade de biogás em Linköping é um bom exemplo de como uma usina de biogás pode resolver vários problemas ambientais simultaneamente. Ela fornece uma possibilidade de transformar um desperdício material em uma matéria-prima para um processo que produz biofertilizantes e combustível para veículos, o que reduz substancialmente as emissões locais e globais do setor dos transportes. A nova abordagem para uso de biogás em um trem também recebeu muita atenção e mostra a versatilidade de biogás recuperado, um combustível que pode ser usado da mesma maneira e nas mesmas aplicações do gás natural. (IEA,2006)





### **3. METODOLOGIA**

Este capítulo apresenta os procedimentos de pesquisa, materiais e métodos utilizados.

#### **3.1 Caracterização geral da pesquisa**

O estudo é composto por dois momentos: o primeiro momento consiste em revisão bibliográfica sobre o assunto de digestão anaeróbia de resíduos agropecuários com o levantamento dos principais modelos de biodigestores existentes e dos usos para o biogás. O segundo consiste em um estudo de caso do município de Tupandi, onde levando em conta as estimativas da produção de dejetos e sua caracterização, foi escolhida a melhor opção de modelo de biodigestor de resíduos agropecuários e por último realizadas estimativas da quantidade de biogás produzido e do respectivo potencial energético.

#### **3.2 Pesquisa Bibliográfica**

A pesquisa bibliográfica é aquela desenvolvida em bibliotecas físicas ou virtuais, a partir de textos e livros que tratam de teoria ou teoria aplicada (LAKATOS & MACONI, 2007). Na pesquisa bibliográfica foram considerados assuntos relacionados aos resíduos agropecuários, à digestão anaeróbia, modelos de biodigestores, ao biogás e à energia elétrica. Para isso, foram realizadas buscas por livros de autores consagrados nacionais e internacionais, pesquisas científicas (teses e dissertações), artigos pesquisados por meio do portal de periódicos da Capes ([www.periodicos.capes.gov.br](http://www.periodicos.capes.gov.br)) em bases de dados internacionais como: ScienceDirect ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)) e Elsevier Science ([www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)). Além disso, também foram considerados documentos governamentais oficiais de nível nacional, estadual e municipal e informações de empresas fornecedoras de serviços e equipamentos relacionados ao tema.

#### **3.3 Estudo de caso:**

A localidade selecionada para estudo foi o município de Tupandi – RS, este foi selecionado pela facilidade de acesso aos dados, já que a empresa (GIZ<sup>1</sup>) em que acadêmica realizou o estágio obrigatório estava envolvida no projeto de tratamento de resíduos das fazendas do município.

---

<sup>1</sup> GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - Cooperação Alemã para o Desenvolvimento

Tupandi é um município do estado do Rio Grande do Sul (Figura 9), com 3.924 habitantes (IBGE,2010), foi colonizada por imigrantes alemães, que chegaram à região no século XIX. Localiza-se a uma latitude 29°28'35" sul e a uma longitude 51°25'16" oeste, estando a uma altitude de 63 metros.

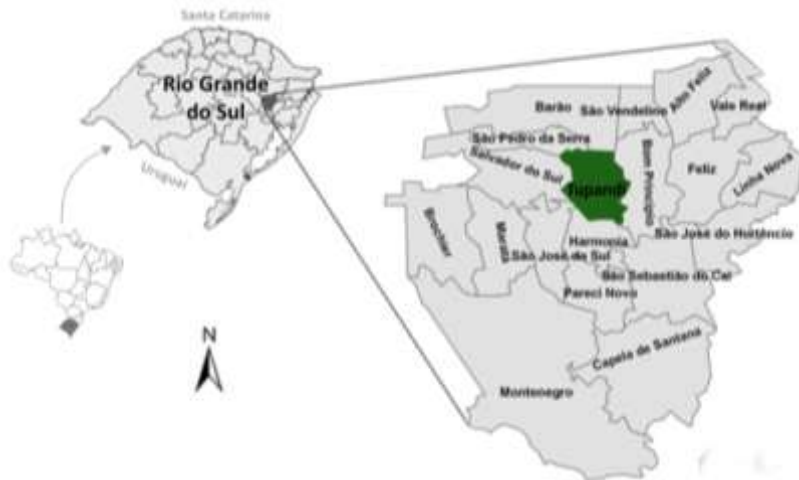


Figura 9 – Mapa de Localização de Tupandi – RS.

A cidade tem sua economia voltada ao setor primário com destaque para a criação de aves e suínos. Fica a 83 km de Porto Alegre e clima subtropical úmido. As variações de temperatura durante o ano em Tupandi podem ser visualizadas na imagem a seguir Figura 10.

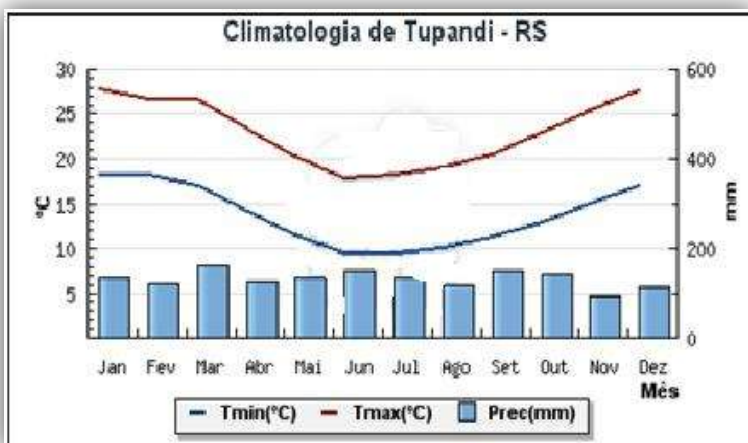


Figura 10 - Dados climatológicos de Tupandi (médias do período entre 1961 e 1990). Fonte: INMET, 2011.

O estudo de caso foi baseado em um projeto em andamento de tratamento dos dejetos de 77 fazendas da cidade (ANEXO C), cujo objetivo é tratar os resíduos de maneira centralizada e depois utilizar o biogás e o fertilizante produzido. Os dejetos são de suínos, aves e bovinos. Todos estes dejetos serão encaminhados a uma única planta de digestão anaeróbia. O número total de suínos, segundo um levantamento feito pela Eletrosul no ano de 2010 é de cerca de 67.000, bovinos é de 560 e aves é de 90.000.

A maior empresa neste município é o produtor de móveis Kappesberg, que tem um elevado consumo de energia. Um terreno baldio atrás da fábrica de móveis é previsto para o local da usina de biogás. A proximidade da fábrica de móveis garante, que a energia térmica poderá ser aproveitada no processo de produção, além da energia elétrica gerada (GIZ,2011)

O espaço disponível para a instalação da planta de tratamento possui uma área de aproximadamente 40.000 m<sup>2</sup> e pode ser visualizado a seguir (Figura 11).



Figura 11- Imagem de satélite da pretendida área de instalação da Usina de Biogás Fonte: GIZ, 2011.

### 3.4 Quantidade e caracterização de dejetos

Os valores da quantidade e das características dos dejetos foram obtidos por meio do relatório fornecido pela GIZ e são referentes ao ano de 2010. Estes foram apresentados de acordo com a unidade de criação, conforme a Tabela 11 a seguir:

Tabela 11 – Unidades de criações e suas siglas.

Unidade de criação	Sigla
<b>Fêmeas com Leitões (em lactação)</b>	UPL
<b>Suíños em Crescimento/Terminação</b>	CT
<b>Suíños - Creche</b>	SC
<b>Aves de postura</b>	AP
<b>Bovinos</b>	BO

Os parâmetros de análise apresentados no relatório mencionado foram ST, SV, pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nt e Pt. A análise foi realizada por uma empresa terceirizada e com base no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A partir destes valores obtiveram-se os valores da DQO, SV e ST equalizados. Conforme as equações a seguir:

DQO da mistura equalizada (Equação 1):

$$DQO_{eq} = \frac{DQO_{UPL} \cdot Q_{UPL} + DQO_{CT} \cdot Q_{CT} + DQO_{SC} \cdot Q_{SC} + DQO_{AP} \cdot Q_{AP} + DQO_{BO} \cdot Q_{BO}}{(Q_{UPL} + Q_{CT} + Q_{SC} + Q_{AP} + Q_{BO})}$$

SV da mistura equalizada (Equação 2):

$$SV_{eq} = \frac{SV_{UPL} \cdot Q_{UPL} + SV_{CT} \cdot Q_{CT} + SV_{SC} \cdot Q_{SC} + SV_{AP} \cdot Q_{AP} + SV_{BO} \cdot Q_{BO}}{(Q_{UPL} + Q_{CT} + Q_{SC} + Q_{AP} + Q_{BO})}$$

ST da mistura equalizada (Equação 3):

$$ST_{eq} = \frac{ST_{UPL} \cdot Q_{UPL} + ST_{CT} \cdot Q_{CT} + ST_{SC} \cdot Q_{SC} + ST_{AP} \cdot Q_{AP} + ST_{BO} \cdot Q_{BO}}{(Q_{UPL} + Q_{CT} + Q_{SC} + Q_{AP} + Q_{BO})}$$

### 3.5 Carga orgânica

O cálculo da carga orgânica foi feito de acordo com a Equação a seguir:

$$CO = \frac{SV \times Q}{1000 \text{ g/kg}} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

CO – Carga orgânica (Kg SV/dia);

SV – Concentração de sólidos voláteis do afluente (mg SV/L)\*;

Q – Vazão dos dejetos (m<sup>3</sup>/dia).

\* mg/L = g/m<sup>3</sup>.

### 3.6 Seleção e dimensionamento do biodigestor

A seleção do modelo de biodigestor foi baseada na revisão de literatura dos modelos existentes que melhor se aplicavam a este caso, devido às características e quantidade de dejetos.

#### 3.6.1 Dimensionamento

Segundo Rui Alves (2007) lagoas anaeróbias, geralmente, são dimensionadas em função da carga orgânica volumétrica (COV) e do tempo de retenção hidráulica (TRH), que varia de 30 a 40 dias.

Metcalf & Eddy (2003) recomendam que seja aplicada uma carga de 0,5 a 1,6 kg SV/m<sup>3</sup>.dia para os digestores anaeróbios de baixa carga; e de 1,6 a 6,4 kg SV/m<sup>3</sup>.dia para os digestores de alta carga (otimizados com agitação e aquecimento da biomassa).

Já MALINA JR. & POHLAND (1992 apud ALVES, R. 2007) aconselha que lagoas anaeróbias cobertas devam ser operadas com COV menor que 2 kg SVT/m<sup>3</sup>.dia.

Neste trabalho, o digestor foi dimensionado em função do Tempo de Detenção Hidráulica de 35 dias. Verificando se a COV correspondente encontrava-se dentro da faixa recomendada pela literatura. Os cálculos para o volume do biodigestor e da carga orgânica volumétrica foram realizados de acordo com as equações a seguir:

#### Volume do digestor:

$$V_{digestor} = Q \cdot TDH \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

Q - Vazão (m<sup>3</sup>·d<sup>-1</sup>);

V<sub>digestor</sub> - Volume do digestor (m<sup>3</sup>).

TDH - Tempo de Detenção Hidráulica (dias)

#### Carga orgânica volumétrica:

Para o cálculo da carga orgânica volumétrica aplicada é considerado o volume do biodigestor.

$$COV = \frac{CO}{V} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

COV – Carga orgânica volumétrica (Kg SV /m<sup>3</sup>. dia), considerando g/L = kg/m<sup>3</sup>;

CO – Carga orgânica (Kg SV/dia);

V – Volume do biodigestor (m<sup>3</sup>);

### **3.7 Eficiência esperada do biodigestor e estimativa da geração de energia**

As lagoas anaeróbias cobertas analisadas por Dal Mago (2009) mostraram eficiência média geral de remoção de sólidos voláteis foi de 75,5%, esta localidade apresenta temperaturas próximas às registradas em Tupandi. Como base nessas informações, adotou-se o valor de 75% de eficiência de remoção de sólidos voláteis.

#### **3.7.1 Estimativa da produção de metano e energia:**

Para a estimativa de produção de metano foram considerados os valores encontrados no trabalho de Dal Mago (2009) que analisou um

grupo de biodigestores e selecionou os que apresentaram a produção de metano dentro de uma faixa mais aproximada do que é indicado na literatura de  $0,45 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SVremov}$  (LA FARGE, 1995 apud DAL MAGO, 2009) e a faixa entre  $0,50$  e  $0,70 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SVremov}$ . (PAGILLA; KIM; CHEUBARN, 2000; HILL; TAYLOR; GRIFT, 2001; MØLLER et al., 2007; CHAE et al., 2008 apud DAL MAGO, 2009). Destes biodigestores selecionados a média obtida e recomendada para trabalhos futuros foi de  $0,56 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg SVremov}$ .

Assim temos a equação a seguir:

$$V_{\text{metano}} = SV \cdot 0,75 \cdot 0,56 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{kg SVremov}} \quad (\text{Equação 7})$$

Em que:

$V_{\text{metano}}$  – Volume de metano gerado por dia ( $\text{Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{dia}$ )

SV – Sólidos voláteis ( $\text{kg SV}/\text{dia}$ )

Cada  $\text{m}^3$  de metano corresponde a  $9,94 \text{ kWh}$  de energia. Considerando-se o volume horário de metano gerado pelo sistema, pode-se calcular o potencial energético do biogás gerado, conforme as equações a seguir:

$$V_h = \frac{V_{\text{metano}}}{24} \quad (\text{Equação 8})$$

$$\text{PE} = V_h \cdot 9,94 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \quad (\text{Equação 9})$$

Em que:

PE – Potencial energético ( $\text{kW}$ )

$V_{\text{hmetano}}$  – Volume horário de metano gerado ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ )

Do potencial energético calculado, apenas uma parte pode efetivamente ser aproveitada como energia térmica ou elétrica. Este valor depende da tecnologia de conversão adotada. Para a tecnologia de turbinas a gás, por exemplo, a eficiência de conversão pode chegar a 40%, ou seja, 40% da energia primária é convertida em eletricidade. No caso de adoção de tecnologias de co-geração (aproveitamento elétrico e térmico), até 50% da energia pode ser aproveitada na forma de calor (geração de vapor). Para esta configuração, considerando turbinas à gás, até 90% da energia pode ser aproveitada, sendo 50% na forma térmica e 40% na forma elétrica, enquanto 10% seriam perdidos pelos processos do sistema.

Assim as estimativas potência elétrica e térmica foram calculadas de acordo com as equações 10 e 11 respectivamente.

#### Estimativa da potencia elétrica

Equação 10:

$$P_1 = PE \cdot 0,40$$

Em que:

$P_1$  – Potencia elétrica (kW)

PE – Potencial energético (kW)

#### Estimativa do potencia térmica

Equação 11:

$$P_2 = PE \cdot 0,50$$

Em que:

$P_2$  – Potencia térmica (kW)

PE – Potencial energético (kW)

#### Estimativa de residências atendidas

O valor do consumo médio residencial de 300 kWh/mês foi obtido do trabalho de Hansen (2000) que analisou os padrões de consumo de energia elétrica das diferentes tipologias de edificações residenciais em Porto Alegre.

Para uma melhor visualização das equações utilizadas criou-se a tabela a seguir (Tabela 12).

Tabela 12 – Equações utilizadas

Parâmetro	Unidade	Equação <sup>1</sup>
<b>DQO<sub>eq</sub></b>	mg/l	$\frac{X_{eq} = X_a \cdot Q_a + X_b \cdot Q_b + \dots + X_n \cdot Q_n}{(Q_a + Q_b + \dots + Q_n)}$
<b>SV<sub>eq</sub></b>	mg/l	$\frac{X_{eq} = X_a \cdot Q_a + X_b \cdot Q_b + \dots + X_n \cdot Q_n}{(Q_a + Q_b + \dots + Q_n)}$
<b>ST<sub>eq</sub></b>	mg/l	$\frac{X_{eq} = X_a \cdot Q_a + X_b \cdot Q_b + \dots + X_n \cdot Q_n}{(Q_a + Q_b + \dots + Q_n)}$
<b>SV/ST</b>	-	$SV/ST$



<b>CO</b>	Kg SV/dia	$CO = (SV \times Q) / 1000$
<b>V<sub>digestor</sub></b>	m <sup>3</sup>	$V_{digestor} = Q \cdot TDH$
<b>COV</b>	Kg SV/dia .m <sup>3</sup>	$COV = \frac{CO}{V}$
<b>V<sub>metano</sub></b>	Nm <sup>3</sup> /dia	$V_{metano} = SV \cdot 0,75 \cdot 0,56$
<b>V<sub>h</sub></b>	Nm <sup>3</sup> /h	$V_h = \frac{V_{metano}}{24}$
<b>Potencial energético</b>	kW	$PE = V_h \cdot 9,94$
<b>Potencia elétrica (40%)</b>	kW	$P_1 = PE \cdot 0,40$
<b>Potencia térmica (50%)</b>	kW	$P_2 = PE \cdot 0,50$
<b>Energia elétrica</b>	kWh/mês	$El = Ee \cdot 30 \cdot 24$

<sup>1</sup> – X equivale à concentração do parâmetro considerado (DQO, SV ou ST)

## 4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

A primeira parte, que refere-se revisão bibliográfica sobre o tema de digestão anaeróbia de resíduos agropecuários é apresentada no capítulo 2. A seguir apresenta-se os resultados do estudo de caso de Tupandi e os cálculos estimativos de geração de biogás.

### 4.1 Quantidade e caracterização de dejetos

A seguir podemos observar os valores de produção de dejetos baseados nos dados fornecidos pela Empresa Eletrosul (Tabela 13).

Tabela 13– Quantidade média de dejetos para cada tipo de animal

Unidade de criação	Total	Dejetos	Dejetos	Total diário	Total anual
	Animais	m <sup>3</sup> /animal . ano	m <sup>3</sup> /animal.d	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /ano
<b>UPL</b>	7973	8,17	0,0224	178,4	65.111
<b>CT</b>	26910	2,1	0,0058	154,8	56.511
<b>SC</b>	32000	0,42	0,0012	36,8	13.440
<b>AP</b>	90000	0,02	0,0001	4,9	1.800
<b>BO</b>	560	3,56	0,0098	5,5	1.995
<b>Total</b>				380,4	138.857

Fonte: GIZ, 2011

Podemos observar que os valores para suínos estão próximos dos teóricos apontados por Oliveira (2004).

Tendo a quantidade dos dejetos definida, temos a seguir a caracterização quanto a qualidade dos dejetos segundo análise realizada por uma empresa terceirizada (Tabela 14).

Tabela 14 – Características dos Dejetos

Categoria	ST mg/l	SV mg/l	pH	DBO <sub>5</sub> mg/l	DQO mg /l	Nt mg/l	Pt mg/l
<b>UPL</b>	37110	22910	7,7	3650	19197	3048	877
<b>CT</b>	147725	81465	7,4	47500	79458	9706	1018
<b>SC</b>	88505	45780	6,9	23000	55718	5598	815
<b>AP</b>	236500	122000	7,6	48485	203496	15964	6887
<b>BO</b>	193500	97000	7,3	16756	140588	4275	1930

Fonte:GIZ ,2011

## **4.2 Modelo de Biodigestor Selecionado**

Foi selecionado um biodigestor modelo de fluxo contínuo: lagoa anaeróbia coberta (Canadense) construído em lona de PVC preta, incluindo a parte do gasômetro. Esse modelo é indicado para grandes volumes de dejetos, pela sua facilidade de construção e preço mais acessível, e por estas razões foi selecionado, levando em conta que existe a disponibilidade de uma grande área para o sistema de tratamento.

Levando em consideração o trabalho de Medri et al. (1998), que mostrou os resultados obtidos com um sistema de tratamento de dejetos suínos, com um equalizador e composto por quatro lagoas de estabilização (duas anaeróbias, uma facultativa e uma de aguapés), dispostas em série, recomenda-se que a lagoa anaeróbia seja precedida por um equalizador com um sistema de mistura, onde será realizada a homogeneização dos dejetos. Será seguida por lagoas de armazenamento para posterior aplicação no solo. Se o destino final for um curso d'água recomenda-se também que seja seguida por lagoas de pós-tratamento aeróbias, complementando o tratamento e removendo compostos que a digestão anaeróbia não remove eficientemente, como o nitrogênio e fósforo.

Uma parte do resíduo da digestão pode ser aplicado no solo agrícola como biofertilizante, mas não há demanda para a quantidade total, assim o efluente após todas as etapas de tratamento pode ser despejado em um curso d'água observando os padrões de lançamento da legislação CONAMA. Uma das soluções para a parte sólida é a compostagem.

A proposta do sistema de tratamento pode ser visualizada na Figura 12.

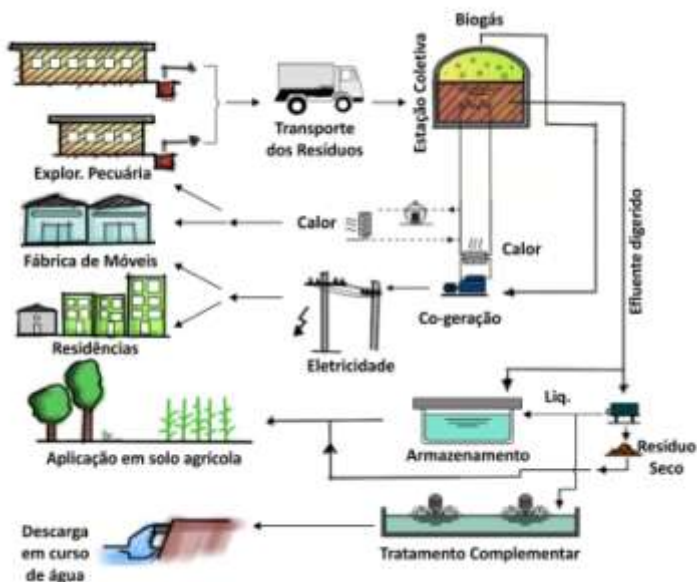


Figura 12 – Esquema do sistema de tratamento e possíveis usos para o biogás produzido.

#### 4.2.1 Temperatura de operação:

A temperatura é fator importante para a eficiência da digestão anaeróbia. Muitos autores se referem a uma temperatura ideal, mas a grande maioria concorda que acima de 10°C o sistema funciona. Rouger (1987, apud HENN, 2005) afirma que a metanização pode ocorrer nas faixas psicrófila, mesófila e termófila, havendo dentro de cada uma delas uma temperatura ótima que permite a ocorrência do crescimento máximo de microrganismos e uma atividade metanogênica mais intensa. Todos os autores concordam que a faixa mesófila apresenta mais vantagens, em termos de operação do reator.

Metcalf & Eddy (2003) recomendam, dentro da faixa mesófila, o intervalo de 25 a 40°C como ótimo para a digestão anaeróbia. Segundo Belli Filho (1995 apud Dal Mago, 2009), as condições ótimas para a digestão anaeróbia são obtidas na faixa mesófila entre 30 e 35°C. Porém, nos estados do sul do Brasil a temperatura média observada na biomassa de biodigestores é inferior, mantendo-se valores entre 20 e 25°C (OLIVEIRA, 2005).

Para o caso neste trabalho, é provável que o biodigestor trabalhe grande parte do tempo no limite inferior da faixa mesofílica. Mas deve-se levar em consideração que as reações metabólicas dos microrganismos são exotérmicas, e ajudam a manter a Temperatura Interna dos reatores (ALVES, R. 2007). Considerando também que a lagoa estará abaixo do nível do solo e que a lona de cobertura será preta, espera-se que a temperatura dentro do biodigestor apresente-se mais elevada que a temperatura ambiente. E portanto, funcione durante todo o ano, mantendo sua temperatura acima de 10° C até para o período mais frio.

#### 4.3 Dimensionamento e estimativa de energia

Os parâmetros adotados para o dimensionamento do digestor e para o cálculo do potencial energético estão apresentados na Tabela 15. Os parâmetros adotados se baseiam tanto em valores retirados da literatura, quanto em valores empíricos praticados por engenheiros projetistas de plantas de biogás. O consumo de energia elétrica da fábrica de móveis foi baseado na fatura de energia de maio de 2008.

Tabela 15 - Parâmetros adotados

Parâmetros	Unidade	Valor	Literatura base
Geração de metano por SV removido	$\frac{Nm^3 CH_4}{kgSV_{remov}}$	0,56	DAL MAGO (2009)
Eficiência de remoção de SV	%	75	DAL MAGO (2009)
Potencial energético do CH <sub>4</sub>	kWh/ $Nm^3 CH_4$	9,94	PROENÇA (2011)
Eficiência de conversão de metano em energia elétrica	%	40	PROENÇA (2011)
Eficiência de conversão de metano em energia térmica	%	50	PROENÇA (2011)
Tempo de detenção hidráulica (TDH)	dias	35	R. ALVES (2007)
Consumo médio residencial	KWh/mês	300	HANSEN (2000)
Consumo fábrica	KWh/mês	641.029	Fatura da fábrica

#### 4.3.1 Dimensões do biodigestor

Os resultados dos principais cálculos realizados para o dimensionamento do biodigestor são apresentados na Tabela 16. Os cálculos seguiram as equações descritas na metodologia (a partir da página 57).

Tabela 16 – Resultados da primeira parte dos cálculos

Parâmetro	Unidade	Valor
<b>DQO<sub>eq</sub></b>	mg/l	51.381,78
<b>SV<sub>eq</sub></b>	mg/l	51.298,45
<b>ST<sub>eq</sub></b>	mg/l	91.925,18
<b>SV/ST</b>	-	0,56
<b>CO</b>	Kg SV/dia	19.513,93
<b>V<sub>digestor</sub></b>	m <sup>3</sup>	13.314
<b>COV</b>	Kg SV/dia . m <sup>3</sup>	1,47

O volume mínimo necessário para tratamento dos dejetos é 13.314 m<sup>3</sup>, portanto por questões de facilidade de implantação e operação, propõe-se que este volume seja dividido em 2 lagoas, cada uma com de 5 m de profundidade, 15 de largura e 90 de comprimento. Assim o volume de cada lagoa será de 6.750m<sup>3</sup>, e área de 1350m<sup>2</sup>. O volume das duas lagoas totaliza 13500 m<sup>3</sup>. Esta alteração modifica alguns parâmetros, como TDH e COV, refazendo os cálculos obtêm-se TDH de 35,5 dias e COV 1,45 Kg SV/dia. m<sup>3</sup>, não representando portanto uma diferença significativa.

A seguir pode-se observar um corte lateral da lagoa sugerida (Figura 13).

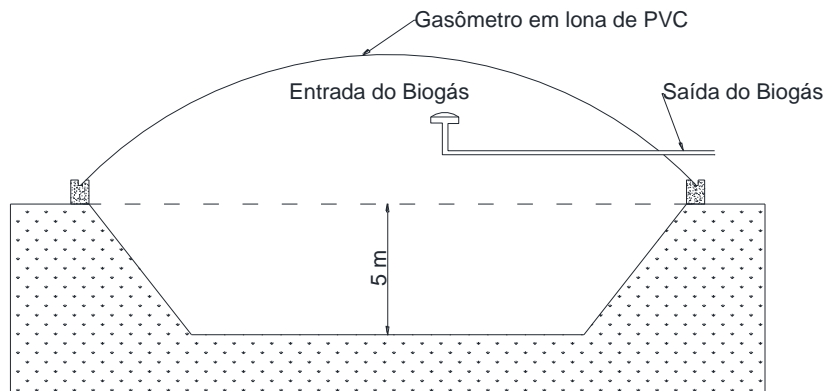


Figura 13 - Vista em corte da lagoa anaeróbia coberta

#### 4.3.2 Produção de metano e energia

Os resultados dos cálculos de quantidade de metano e potencial energético estão apresentados na Tabela 17. Os cálculos seguiram as equações descritas na metodologia (a partir da página 57).

Tabela 17 – Resultados da segunda parte dos cálculos

Parâmetro	Unidade	Valor
<b>V<sub>metano</sub></b>	Nm <sup>3</sup> /dia	8.195,85
<b>Vh</b>	Nm <sup>3</sup> /h	341,49
<b>Potencial energético</b>	kW	3.394,45
<b>Potencia elétrica (40%)</b>	kW	1.357,78
<b>Potencia térmica (50%)</b>	kW	1.697,22
<b>Eletricidade</b>	kWh/mês	977.601,1

O potencial de energia elétrica seria o suficiente para abastecer em torno de 3.258 residências, considerando o consumo médio de 300 kWh/mês. Considerando o consumo da fábrica de 641.029 kWh/mês, a energia elétrica restante seria o suficiente para abastecer cerca de 1.122 residências, o que equivale a aproximadamente 3.926 habitantes, praticamente o número de habitantes de Tupandi. Entretanto, é importante destacar, que não foi considerado o consumo de energia elétrica da

própria planta. Este consumo resulta em um menor potencial de energia elétrica disponível para distribuição/comercialização.

Segundo Deublein e Steinhauser (2008) a energia consumida por uma planta de biogás, com agitadores, bombeamento, entre outros, corresponde a cerca de 20 % da energia elétrica produzida pela planta de biogás. Descontando o consumo de 20% a potência elétrica disponível para comercialização seria de 1.086,22 kW. O que seria suficiente para abastecer a fábrica de móveis e cerca de 470 residências.

A seguir podemos observar uma figura esquemática do fluxo da utilização do biogás (Figura 14).

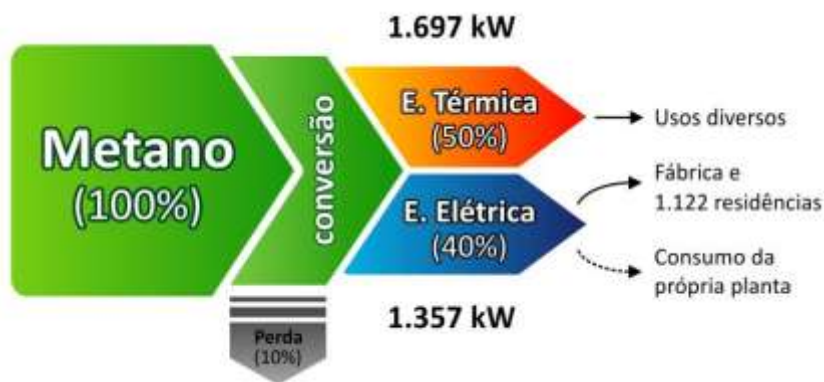


Figura 14 – Fluxograma da utilização do biogás

Outro aspecto a ser considerado é distância a ser percorrida até a planta de biogás, segundo dados fornecidos pela empresa GIZ, algumas das fazendas são vizinhas as plantas de biogás, a distância média de transporte de 4,2 km e a fazenda mais distante localiza-se a 6,7 km da planta de biogás, não interferindo na viabilidade do sistema, estando dentro das recomendações da ADENE (2003). Uma tabela com a distância de cada fazenda até a planta de biogás encontra-se no ANEXO C.





## 5. CONCLUSÕES

Foi realizado um dimensionamento simplificado de um sistema de digestão anaeróbia para o tratamento de resíduos pecuários do município de Tupandi. Para tratar 138.857 m<sup>3</sup>/a (quantidade estimada de resíduos pecuários no ano de 2010) uma lagoa anaeróbia coberta de 13.314 m<sup>3</sup> seria necessária. Por ser um volume grande, optou-se por duas lagoas, com 6.750 m<sup>3</sup> cada. A geração de metano estimada corresponde a 8.195 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/dia, equivalendo a um potencial de geração de energia elétrica de 1,4 MW. Esta quantidade mostrou-se suficiente para cobrir o consumo equivalente de energia elétrica da fábrica de móveis e a parte residencial de Tupandi.

O dimensionamento simplificado proposto, bem como as estimativas de produção de biogás e de energia, servem como reflexão sobre a aplicação desta tecnologia no município de Tupandi. Os valores estimados apontam para a viabilidade da adoção de digestores anaeróbios para o tratamento de dejetos das fazendas de Tupandi, visando evitar que estes dejetos continuem a ser lançados nos mananciais d'água e no solo da região, promovendo a proteção do meio ambiente, da saúde humana, e a geração de energia renovável. A estimativa da geração de energia mostrou-se significativa, contribuindo para a atratividade econômica do projeto.

Este tipo de abordagem segue o princípio do saneamento sustentável, protegendo a saúde humana, proporcionando um ambiente limpo e quebrando o ciclo da doença. Além disso, protege o meio ambiente e os recursos naturais. Uma planta de biogás pode resolver vários problemas ambientais simultaneamente. Ela fornece uma possibilidade de transformar um resíduo potencialmente poluidor em matéria-prima para um processo que produz biofertilizante, energia térmica e elétrica e até combustível para veículos o que reduz substancialmente as emissões locais do setor.

O tratamento centralizado traz a vantagem da operação por mão de obra especializada, pois a principal limitação dos sistemas descentralizados é a falta de entendimento dos usuários de alguns aspectos microbiológicos básicos, vitais ao bom funcionamento do sistema, mas nem sempre seguidos, o que acarreta perda de eficiência do biodigestor.

A digestão anaeróbia de resíduos, além de tratá-los, é de interesse crescente para reduzir as emissões de efeito estufa e para facilitar o desenvolvimento sustentável do fornecimento de energia. A escolha de um caso real para avaliação do potencial energético e da dimensão do biodigestor serve para mostrar a aplicabilidade do aproveitamento do

biogás e como a utilização desse tipo de fonte de energia pode ser significativa ambientalmente e energeticamente.

Como recomendação para futuros trabalhos, sugere-se o cálculo mais detalhado dos gastos de energia para o sistema de mistura, bombeamento, etc, assim como o dimensionamento de todo o sistema e o levantamento do custo econômico que considere todas as variáveis (mão-de-obra, frete, impostos, etc.) e da receita, tanto de implantação como de operação destas unidades. Permitindo, assim, um balanço energético e econômico.

## 6. REFERÊNCIAS

ADENE, Dr. Paulo Santos (Ed.). **Estudo de viabilidade do tratamento centralizado de resíduos agro-pecuários no Concelho de Montemor-o-Novo**: Relatório Final. nº 01/2002 Montemor-o-novo: Portugal, 2003. 164 p.

ALVES, João Wagner Silva. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. São Paulo, 2000. 142 p, (PIPGE/USP, M. Sc., Energia).

ALVES, Rui Guilherme Cavaleiro de Macêdo. **Tratamento e Valorização de Dejetos da Suinocultura Através de Processos Anaeróbios – Operação e Avaliação de Diversos Reatores em Escala Real**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. 2007.

ANDREOLI, C.V. (coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. PROSAB). Rio de Janeiro – ABES, 2001.

BELLI FILHO, Paulo, et al. **Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2000 v.5, n.1, p.166-170. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB

CAMPOS, Aloísio Torres De et al. **TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO E RECICLAGEM DE DEJETOS DE BOVINOS EM SISTEMA INTENSIVO DE PRODUÇÃO DE LEITE**. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 26, n. 2, p.426-438, abr. 2002.

CASSINI, S. T. (COORD.). **Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento de biogás**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, 2003.

CASTANHO, Diego Solak; ARRUDA, Heder Jobbins de. **BIODIGESTORES**. In: SEMANA DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS, 6., 2008, Ponta Grossa: UTFPR, 2008. p. 1 - 7.

**CENBIO. Geração de energia elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto.** USP/IEE/CENBIO – SABESP. Relatório técnico final. São Paulo, Junho de 2004.

**CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios.** 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).

**CHERNICHARO, C.A.L.; STUETZ, R.M. Energy Recovery from Biogas in Anaerobic Wastewater Treatment Plants.** 2008 Em: **CHERNICHARO, C.A.L.** Limitações e Possíveis Melhorias Futuras no Projeto, na Construção e na Operação de Reatores UASB Tratando Esgotos Domésticos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2009.

**COLDEBELLA, Anderson, SOUZA, Samuel Nelson Melegari de, SOUZA, Juliano de.** Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite.. Em: **ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL**, 6., 2006, Campinas. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022006000200053&lng=es&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000200053&lng=es&nrm=abn)>. Acesso em: 29 Sep. 2011.

**COLDEBELLA, Anderson. Viabilidade do Uso do Biogás da Bovinocultura e Suinocultura para Geração de Energia Elétrica e Irrigação em Propriedades Rurais.** 2006. 74 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Agrícola, Unioeste, Cascavel, 2006.

**COSTA, D. F. Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto.** 2006. 194 p. Dissertação (Mestrado em Energia). Programa de Interunidades de Pós-graduação em Energia – PIPGE (EP/FEA/IEE/IF), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

**DAL MAGO, Anigeli. Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos, em Braço do Norte e em Concórdia.** 152 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Florianópolis , 2009.

**DAL MAGO, Anigeli , et al. Caracterização do Biogás e do Afluente em Biodigestores da Atividade Suinícola em Santa Catarina.** X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 2010. 7p.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources**. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.

DONATH, Fábio . **Pré-dimensionamento de um digestor anaeróbio para o tratamento do lodo de estação de tratamento de esgoto doméstico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2010.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor**: um estudo de caso na região de Toledo-PR. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2003.

GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit - Cooperação Alemã para o Desenvolvimento. Documentos diversos da empresa.

GOSMANN, H. A. **Estudos comparativos com bioesterqueira e esterqueira para armazenamento e valorização dos dejetos de suínos**. 1997. 126f. Dissertação (Mestrado) .Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GOULART, R. M. **Processo de compostagem: alternativa complementar para o tratamento de camas biológicas de dejetos de suínos**. 1997. 127 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

GUSMÃO, Maria Margarida Falcão e Cunha de Campos. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 2008. 170 f.

HANSEN, Alice M. D. **Padrões de consumo de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais, em Porto Alegre**.

Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2000. 146p.

HENN, Alan. **Avaliação De Dois Sistemas De Manejo De Dejetos Em Uma Pequena Propriedade Produtora De Suínos – Condição De Partida**. 157 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, SC, 2005.

IBGE, **Censo Agropecuário 2006** - Primeiros resultados - Agricultura Familiar Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. 267 p. 2007.

IBGE, **Produção Pecuária Municipal 2004**. Perfil da produção brasileira de animais e de produtos de origem animal. Disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), acesso em 04/10/2011.

IEA BIOENERGY , 2006. **100% BIOGAS FOR URBAN TRANSPORT IN LINKÖPING, SWEDEN**. BIOGAS IN THE SOCIETY Information from TASK 37 Energy from biogas and landfill gas. Suécia, IEA.

KUNZ, Airton; HIGARASHI, Martha Mayumi; OLIVEIRA, Paulo Armando de. **TECNOLOGIAS DE MANEJO E TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS ESTUDADAS NO BRASIL**. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, 2005. p. 651-665.

LAKATOS, Eva Maria.; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia Científica**. 5a Edição – São Paulo: Atlas, 2007.

LEITE, Wanderli Rogério Moreira. **Digestão anaeróbia mesofílica de lodo adensado de estação de tratamento de esgoto**. 143 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Florianópolis, SC, 2011.

LIMA, F. P. **Energia no tratamento de esgotos: Análise tecnológica e institucional para conservação de energia e o uso do biogás**. 2005. 139p. Dissertação de mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

LOBATO, Livia C. S. **Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico** – Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. 2011

LINDEMEYER, Ricardo M. **ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO USO DO BIOGÁS COMO FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA**. Trabalho de Conclusão de Estágio. Curso de Administração da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. 105p.

MATA-ALVAREZ J., MACÉ, S. E LLABRÉS, P. . **Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives**. Bioresource Technology 74, p. 3- 16 .2000

MEDRI, Waldir, et al. **Otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos - 2 avaliação de dois parâmetros**. In: Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, 1998. p.1-10

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and reuse**. 4ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MONTE, Margarida Marecos Do. **Contributo para o Estudo da Valorização Energética de Biogás em Estações de Tratamento de Águas Residuais**. 2010. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de, Lisboa, 2010. Disponível em: <[www.scielo.org](http://www.scielo.org)>. Acesso em: 31 mar. 2011.

NEVES, L. M. G. F. **Anaerobic Co-Digestion Of Organic Wastes**. Tese (Doutorado) Universidade do Minho. 2009

OLIVEIRA, P. A. V. et al. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia:Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109p.

PRATI, Lisandro. **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS GERADO POR BIODIGESTORES**. Projeto de Conclusão de Curso (Monografia) . Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010. 83p.



PROENÇA, Lúcio Costa. **UTILIZAÇÃO DE DIGESTORES ANAERÓBIOS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS URBANOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM FLORIANÓPOLIS, SC.** 2010. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC, Florianópolis, 2011.

SILVA, M. A. **Biodegradação dos Resíduos Agrícolas: rumo a sustentabilidade em Poção da Ribeira-Itabaiana-Sergipe.** Dissertação de Mestrado - Programa Regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente - Universidade Federal De Sergipe. 2003.

SOERTAERT, W. & VANDAMME, E. **Biofuel production from agricultural crops.** In: LENS P, W.P., HABERBAUER M., MORENO A. (Ed). Biofuels for fuel cells: renewable energy from biomass fermentation. London: IWA Publishing, 524 p. 2005.

SOUZA, J. **Desenvolvimento de Tecnologias para Compressão de Biogás.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.

SuSanA. **Pathways for sustainable sanitation** - Versão 1.2 (January 2011). Sustainable Sanitation Alliance (SuSanA). Disponível em: <http://www.susana.org/lang-en/intro/156-intro/53-what-is-sustainable-sanitation>. Acesso em abril 2011

WARD, A. J., HOBBS P. J., HOLLIMAN P. J., JONES D. L. **Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources.** Bioresource Technology 99, p.7928 – 7940. 2008 .

WEILAND, Peter. **Production and Energetic Use of Biogas from Energy Crops and Wastes in Germany.** Applied Biochemistry and Biotechnology. Vol. 19. p. 263 – 274. 2003.

WEILAND, Peter. **Biogas Production: Current State and Perspectives.** Applied Biochemistry and Biotechnology. Vol. 85. p. 849 – 860. 2009.

ZANETTE, A. L., **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil** - Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2009. 97 p. Rio de Janeiro.

## 7. ANEXOS

### ANEXO A

Características de vários combustíveis

Combustível	Massa Específica	Poder Calorífico (kcal/kg)	
	Kg/Nm <sup>3</sup>	Inferior	Superior
<b>Petróleo</b>	867	10.200	10.900
<b>Carvão vapor</b>	n.d.	4.000	4.460
<b>Carvão metalúrgico</b>	n.d.	7.425	7.700
<b>Lenha</b>	390	2.530	3.300
<b>Cana de açúcar</b>	n.d.	917	1.030
<b>Óleo Diesel</b>	851	10.180	10.750
<b>Óleo combustível</b>	999	9.547	10.900
<b>Gasolina</b>	738	10.556	11.230
<b>GLP</b>	552(liq) 2,29 (gás)	11.026	11.750
<b>Nafta</b>	704	10.462	11.320
<b>Querosene</b>	787	10.396	11.090
<b>Gás canalizado</b>	n.d.	4.230	4.700
<b>Carvão vegetal</b>	250	6.115	6.800
<b>Álcool anidro</b>	791	6.400	7.090
<b>Álcool hidratado</b>	809	5.950	6.650
<b>Bagaço da cana</b>	n.d.	1.777	2.257
<b>Gás natural</b>	n.d.	8.554	9.400

Fonte: Adaptado de Costa, 2006.

## ANEXO B

### Características do Gás Natural Combustível

Características	Unidade	Grupos energéticos		
		B (baixo)	M (médio)	A( alto)
PCS	Kcal/Nm <sup>3</sup>	8.000 a 9.000	8.000 a 10.200	10.000 a 12.500
Densidade relativa do ar	--	0,54 a 0,60	0,55 a 0,69	0,66 a 0,812
Teor de H <sub>2</sub> S máximo	mg/m <sup>3</sup>	20	20	20
Teor de CO <sub>2</sub> máximo	% volume	2	2	2
Teor de inertes máximo	% volume	4	4	4
Teor de O <sub>2</sub> máximo	% volume	0,5	0,5	0,5
Ponto de orvalho em água, 1 atm, máximo	°C	-45	-45	-45

Fonte: Adaptado de Costa, 2006.



ANEXO C – Coordenadas e distância das fazendas

Fazenda	Coordenadas		Distância da Planta (km)
	Latitude	Longitude	
<b>Planta de Biogás</b>	29°28'05,83"	51°24'31,81"	-
Ademar Schneider	29°28'33,12"	51°24'39,15"	0,87
Carlos Alfeu Schu	29°29'20,55"	51°26'30,14"	3,93
Comercial Schneider	29°30'02,55"	51°24'33,59"	3,61
Ilmar Inacio Schneider	29°26'34,10"	51°28'11,40"	6,55
Joao Ademar Mombach	29°26'25,80"	51°27'19,00"	5,46
Plinio Rohr	29°29'22,98"	51°24'42,87"	2,40
Ademar Luis Lunkes	29°26'22,00"	51°27'37,10"	5,93
Ademar Specht	29°29'52,30"	51°26'38,50"	4,73
Ademir&Paulo Schoffer	29°26'43,10"	51°24'23,30"	2,57
Adriana Muller	29°28'57,10"	51°24'56,30"	1,72
Ana Paula Schoffer	29°30'24,20"	51°23'53,50"	4,40
Aneres Terezinha Ludwig	29°29'37,40"	51°26'27,30"	4,20
Angela Cristina Schneider	29°29'42,56"	51°24'07,65"	3,06
Arlindo Inacio Rohr	29°29'42,70"	51°24'30,55"	2,99
Astor Inacio Finck	29°30'26,10"	51°25'32,80"	4,63
Auri Royer Rambo	29°26'30,90"	51°26'94,40"	5,72
Carmem Beatriz Orth Junken	29°26'43,22"	51°25'29,54"	2,99
Claudio Antonio Schu	29°30'50,12"	51°25'08,07"	5,17
Dulce Maria Bervian	29°30'54,12"	51°25'44,59"	5,55
Edmundo Mario Schober	29°28'55,87"	51°23'51,79"	1,88
Elio Silverio Fuhr	29°27'39,47"	51°27'36,07"	5,02
Elton Inacio Dewes	29°27'05,23"	51°27'07,53"	4,59
Erci Paulo Schneider	29°30'16,72"	51°24'42,86"	4,05
Fabiane Terezinha Puhl	29°29'01,02"	51°27'58,01"	5,80
Fernando Kunzler	29°27'19,90"	51°27'47,10"	5,44
Gerson Junges	29°27'20,60"	51°26'51,06"	4,00
Helio Inacio Epping	29°26'07,20"	51°27'27,00"	5,97
Hugo Aloisio Lunkes	29°28'24,43"	51°25'59,51"	2,43
Ido Kunzler	29°27'20,60"	51°27'20,00"	4,73
Inacio Dario Warken	29°29'46,40"	51°26'52,82"	4,90
Inacio Guido Mossmann	29°30'19,18"	51°24'51,03"	4,15
Inacio Jair Kinzel	29°25'42,45"	51°25'56,15"	4,98

Fazenda(cont.)	Coordenadas (cont.)		Distância da Planta (km) (cont.)
	Latitude	Longitude	
<b>Planta de Biogás</b>	29°28'05,83"	51°24'31,81"	-
Irineu Inacio Spohr	29°29'53,29"	51°26'58,62"	5,16
Jaime Lauro Juchem	29°26'43,22"	51°25'29,54"	2,99
Joao Ademir Dierings	29°29'36,70"	51°26'16,40"	3,97
Joao Ermo Schneider	29°30'05,36"	51°24'48,10"	3,72
Joao Inacio Reck	29°30'43,14"	51°25'32,31"	5,12
Joao Pedro Werner	29°27'14,30"	51°26'26,20"	3,46
Joao Reinaldo Hartmann	29°30'25,95"	51°23'34,24"	4,60
Joaquim Schneider	29°30'24,81"	51°24'58,51"	4,35
Jose Inacio Schoffen	29°28'59,34"	51°23'52,96"	1,96
Jose Joao Schoffen	29°30'24,20"	51°23'53,50"	4,40
Jose Lecio Hensel	29°28'16,90"	51°26'09,20"	2,64
Jose Luiz Schoffen	29°28'57,10"	51°24'56,30"	1,72
Jose Pedro Schoffen	29°28'57,10"	51°24'56,30"	1,72
Jose Renato Weber	29°29'49,14"	51°25'19,29"	3,44
Leo Inacio Wolf	29°30'08,50"	51°24'56,50"	3,85
Linus Matias Puhl	29°29'01,40"	51°28'00,74"	5,87
Marcelo Rambo	29°26'24,76"	51°26'10,95"	4,11
Marcelo Schoffen	29°28'55,18"	51°23'51,45"	1,87
Maria Ceci Graff	29°26'53,80"	51°27'54,40"	5,89
Nilvo Epping	29°26'18,10"	51°27'22,44"	5,67
Nilvo Ermindo Junges	29°25'15,40"	51°27'06,00"	6,70
Noeli Lucia Kremer	29°29'25,81"	51°26'00,85"	3,44
Orlando Jose Muller	29°25'55,08"	51°26'47,40"	5,44
Paulo Miro Spohr	29°28'58,81"	51°27'55,79"	5,72
Pedro Aloisio Kuhn	29°29'13,79"	51°27'33,50"	5,32
Pedro Paulo Orth	29°26'42,61"	51°25'21,78"	2,90
Plinio Ignacio Stein	29°26'40,24"	51°26'56,82"	4,71
Remo Alberto Werner	29°26'23,90"	51°24'25,60"	3,15
Roberto&Julio Schneider	29°29'14,40"	51°24'56,00"	2,22
Rui Jose Schneider	29°27'28,23"	51°25'99,93"	3,64
Selmo Graff	29°26'56,60"	51°27'54,20"	5,85
Siria Maria Ludwig	29°29'45,93"	51°26'22,25"	4,29
Valdemar Joao Werle	29°27'10,08"	51°27'16,40"	4,75

Fazenda(cont.)	Coordenadas (cont.)		Distância da Planta (km) (cont.)
	Latitude	Longitude	
<b>Planta de Biogás</b>	29°28'05,83"	51°24'31,81"	-
Vilibaldo Jose Hartmann	29°27'42,54"	51°25'59,18"	2,46
Zeno Alfredo Werle	29°27'21,02"	51°27'15,79"	4,62
Plinio Rohr	29°29'22,98"	51°24'42,87"	2,40
Alessandra Cristiane Ludwig	29°29'22,90"	51°24'13,70"	2,43
Granja CLS	29°28'05,38"	51°24'18,46"	0,36
Adilson Antonio Schoffen	29°26'42,70"	51°24'28,50"	2,57
Aloisio Darcilo Brand	29°25'55,79"	51°25'17,01"	4,20
Dirce Colling Kunz	29°27'32,30"	51°27'27,10"	4,83
Jacinto Andrioli	29°25'15,70"	51°25'44,00"	5,60
Joao Carlos Hensel	29°25'49,40"	51°26'57,40"	5,75
José Plinio Rohr	29°29'22,98"	51°24'42,87"	2,40
<u>Ademar Schneider (CSL)</u>	29°28'24,58"	51°24'27,81"	0,59



-- Criação de suínos



-- Criação de aves



-- Criação de bovinos